

Koenen, Jenna [Hrsg.]; Emden, Markus [Hrsg.]; Sumfleth, Elke [Hrsg.]
Chemieunterricht im Zeichen der Erkenntnisgewinnung

Münster : Waxmann 2016, 104 S. - (Ganz In - Materialien für die Praxis)



Quellenangabe/ Reference:

Koenen, Jenna [Hrsg.]; Emden, Markus [Hrsg.]; Sumfleth, Elke [Hrsg.]: Chemieunterricht im Zeichen der Erkenntnisgewinnung. Münster : Waxmann 2016, 104 S. - (Ganz In - Materialien für die Praxis) -
URN: urn:nbn:de:0111-pedocs-151170 - DOI: 10.25656/01:15117

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-pedocs-151170>

<https://doi.org/10.25656/01:15117>

in Kooperation mit / in cooperation with:



WAXMANN
www.waxmann.com

<http://www.waxmann.com>

Nutzungsbedingungen

Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Die Nutzung stellt keine Übertragung des Eigentumsrechts an diesem Dokument dar und gilt vorbehaltlich der folgenden Einschränkungen: Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Terms of use

We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document.

This document is solely intended for your personal, non-commercial use. Use of this document does not include any transfer of property rights and it is conditional to the following limitations: All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

Kontakt / Contact:

peDOCS
DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation
Informationszentrum (IZ) Bildung
E-Mail: pedocs@dipf.de
Internet: www.pedocs.de

Mitglied der


Leibniz-Gemeinschaft



Chemieunterricht im Zeichen der Erkenntnisgewinnung Ganz In – Materialien für die Praxis

Jenna Koenen, Markus Emden,
Elke Sumfleth (Hrsg.)

STIFTUNG
MERCATOR

IFS  Institut für
Schulentwicklungs-
forschung



Ministerium für
Schule und Weiterbildung
des Landes Nordrhein-Westfalen



Ganz In. Mit Ganzttag mehr Zukunft. Das neue Ganzttagsgymnasium NRW

Materialien für die Praxis

herausgegeben von
Wilfried Bos und Heike Wendt

Bibliografische Informationen der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar.

Print-ISBN 978-3-8309-3447-9
E-Book-ISBN 978-3-8309-8447-4

© Waxmann Verlag GmbH, 2016
Steinfurter Straße 555, 48159 Münster
www.waxmann.com
info@waxmann.com

Umschlaggestaltung: Inna Ponomareva, Jena
Umschlagfoto: © Christian Schwier – Fotolia.com
Druck: Mediaprint, Paderborn
Gedruckt auf alterungsbeständigem Papier, säurefrei gemäß ISO 9706

Printed in Germany
Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck, auch auszugsweise, verboten.
Kein Teil dieses Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages
in irgendeiner Form reproduziert oder unter Verwendung elektronischer
Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Vorwort der Herausgeber

Die Einführung des Ganztags ist mit unterschiedlichen Herausforderungen und Anstrengungen verbunden. *„Ganz In. Mit Ganzttag mehr Zukunft. Das neue Ganzttagsgymnasium NRW“* ist ein kooperatives Schulentwicklungsprojekt der Universitäten der Ruhrallianz, der Stiftung Mercator und des Ministeriums für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen mit dem Ziel, 30 ausgewählte Gymnasien in Nordrhein-Westfalen (NRW) auf ihrem Weg zu gebundenen Ganzttagsschulen in ihrer Schul- und Unterrichtsentwicklung durch Fortbildungsangebote und Netzwerkarbeit zu begleiten. Zentrale Zielstellungen sind dabei:

- durch die Verzahnung der unterschiedlichen Lerngelegenheiten eine allgemeine und fachliche Verbesserung der Schülerinnen- und Schülerleistungen zu erreichen;
- durch eine bedarfsorientierte Entwicklung von Ganztagsangeboten der auch an Gymnasien vorzufindenden Heterogenität von Schülerinnen und Schülern gerecht zu werden und durch die Ausgestaltung spezifischer Angebote verbesserte Möglichkeiten der individuellen Förderung zu schaffen, von denen insbesondere Schülerinnen und Schüler profitieren, die in ihrem häuslichen Umfeld in Bezug auf ihre individuellen Entwicklungspotenziale auf keine adäquate Unterstützung zurückgreifen können.

Eine besondere Stärke des Projektes liegt darin, unterschiedliche schulische Akteursgruppen bedarfsorientiert zu unterstützen: Schulleitungen, Ganztagskoordinatorinnen und -koordinatoren sowie ausgewählte Lehrkräfte der Projektschulen erhalten die Möglichkeit an – durch Schulentwicklungsberatung organisierten und moderierten – regionalen Netzwerktreffen teilzunehmen und hier im professionellen Diskurs mit Kolleginnen und Kollegen die eigene inhaltliche Konzeptgestaltung, organisatorisch-strukturelle sowie personelle Weiterentwicklungen zu reflektieren und zu optimieren. Mit den Angeboten der Fachdidaktiken der Fächer Deutsch, Mathematik, Englisch, Biologie, Chemie und Physik und der Lehr-/Lernpsychologie erhielten Fachlehrkräfte der Schulen zudem die Möglichkeit im Rahmen von bedarfsorientiert zugeschnittenen Fortbildungsveranstaltungen ihr Professionswissen zu stärken. Mit einer Schwerpunktsetzung auf Fachwissen und fachdidaktischem Wissen wurden speziell die Wissensbereiche fokussiert, die direkte Relevanz für die Entwicklung der Unterrichtsqualität haben.

Eine weitere besondere Stärke des Projektes liegt darin, dass im breiten Fächerkanon von drei Hauptfächern und den drei naturwissenschaftlichen Fächern für die vielfältigen Fragen nach optimierter Gestaltung von Lerngelegenheiten im Ganzttag Lösungen erarbeitet werden. In thematischer Hinsicht werden insbesondere bei Aspekten der Entwicklung von Diagnose- und Förderinstrumenten, der Erarbeitung von für den Ganzttag geeigneten Unterrichtskonzepten und für eine Verbindung der unterschiedlichen Lerngelegenheiten im Ganzttag inhaltliche Schwerpunkte gesetzt.

Darüber hinaus stehen fächerübergreifend Konzepte zur Förderung des eigenständigen Arbeitens von Schülerinnen und Schülern sowie Möglichkeiten der Stärkung von Lern-, Sozial- und Personalkompetenzen im Fokus.

Die in dieser Reihe erscheinenden Praxisbände dokumentieren mit unterschiedlichen Schwerpunkten die vielfältigen Arbeitsergebnisse aller Projektbeteiligten und stellen erarbeitete Konzepte und Erfahrungen unter anderem in Form von Fortbildungs- und Unterrichtsmaterialien, Handlungsempfehlungen, Checklisten und Prozessbeschreibungen zur Verfügung. Damit sollen gewonnene Erkenntnisse und wirksame Konzepte für zukünftige Schulentwicklungsarbeit anderer Ganzttagsschulen, insbesondere Gymnasien, nutzbar gemacht werden.

Gemeinsam ist allen Bänden dabei der Anspruch erfahrungsbasiert praxiserprobte Materialien auszuwählen und diese interdisziplinär mit Bezug zu aktuellen ganztagsspezifischen Diskursen und dem Forschungs- und Wissensstand der zentralen Referenzdisziplinen einzuordnen. Die Bände richten sich dabei jeweils an die unterschiedlichen durch das Projekt angesprochenen Akteure.

Wilfried Bos
Heike Wendt

Inhalt

Elke Sumfleth

Erkenntnisgewinnung im Chemieunterricht	7
--	---

Markus Emden, Jenna Koenen, Elke Sumfleth

I. Fördern im Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung – Experimentieren im Inquiry-Ansatz	9
---	---

Jenna Koenen

II. Gestaltung von Experimentiersituationen – Wahl verschiedener Öffnungsgrade	19
---	----

Markus Emden, Jenna Koenen

III. Hilfekarten als Lernimpulse	25
---	----

Jenna Koenen

IV. Lösungsbeispiele – eine Einführung	32
---	----

Jenna Koenen, Markus Emden

V. Gestaltung von Lösungsbeispielen	40
--	----

Markus Emden

VI. Exkurs: Adaption von Arbeitsblättern	52
---	----

Jenna Koenen, Elke Sumfleth

VII. Experimentunterstützte Lösungsbeispiele	58
---	----

Eva Kölbach, Elke Sumfleth

VIII. Lösungsbeispiele im Fach Chemie – auch außerhalb von Experimentiersituationen einsetzbar	65
---	----

Literaturverzeichnis	69
-----------------------------	----

Anhang

Training naturwissenschaftlich-experimenteller Arbeitsweisen	74
Checkliste zur Optimierung von multimedialen Arbeitsblättern	75
Arbeitsblatt: Chromatographie (vor der Überarbeitung)	76
Arbeitsblatt: Chromatographie (nach der Überarbeitung)	77
Übersicht Experimentierboxen	78
Materialien für die Experimentierboxen	79
Aufgabenstellungen für die Experimentierboxen	81
Lösungsbeispiel – naturwissenschaftlich-experimentelles Arbeiten + Stofftrennung	84
Lösungsbeispiel – naturwissenschaftlich-experimentelles Arbeiten + Dichte	89
Lösungsbeispiel – naturwissenschaftlich-experimentelles Arbeiten + Oberflächenspannung	95
Lösungsbeispiel – Kaliumpermanganat-Versuch	101

Elke Sumfleth

Erkenntnisgewinnung im Chemieunterricht

Das Projekt „Ganz In – Mit Ganztag mehr Zukunft. Das neue Ganztagsgymnasium NRW“ ist vor fünf Jahren mit dem Ziel angetreten, in den teilnehmenden Projektgymnasien unter naturwissenschaftsspezifischen Gesichtspunkten vor allem die Unterrichtsqualität zu sichern und zu steigern, sie also bei der Weiterentwicklung ihres Fachunterrichts zu begleiten und zu beraten. Im gebundenen Ganztag wird das Lehrangebot zu Beginn der Sekundarstufe I durch die zusätzlichen, in den Stundenplan integrierten Lernzeiten erweitert. Diese bieten gerade im Bereich des naturwissenschaftlichen Anfangsunterrichts Zeitfenster für naturwissenschaftliche Aktivitäten. Doch werden diese im Laufe der Sekundarstufe I zunehmend weniger und die zeitlichen Herausforderungen, die sich durch beispielsweise wandelnde Rhythmisierung oder den Verzicht auf Hausaufgaben ergeben, werden größer. Die Chemie wird als klassisches ‚Nebenfach‘ in der Regel zweistündig unterrichtet. Werden diese beiden Stunden im Doppelstundenprinzip erteilt, erfolgt Chemieunterricht nur noch einmal in der Woche. Jeder Stundenausfall führt also zu langen Phasen, in denen sich Schülerinnen und Schüler nicht mit dem Fach auseinandersetzen. Umso wichtiger erscheint es deswegen, die verbleibende Zeit möglichst effizient zu nutzen. Die Entwicklung von Chemieunterricht im Ganztag ist folglich eine ‚klassische‘ Unterrichtsentwicklung – nur eben mit besonderer Dringlichkeit.

In Absprache mit den Lehrkräften hat die chemiedidaktische Begleitung deswegen ihren Schwerpunkt auf die hinlänglich bekannten Schwachstellen des Chemieunterrichts gelegt. In diesem Praxisband stehen die Aspekte der unterrichtlichen Vermittlung von Kompetenzen der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung im Vordergrund. Es wurden theoriebasiert Methoden und Konzepte diskutiert, die Lernen und Motivation schon durch kleine methodische Eingriffe unterstützen können. Einerseits erhielten die Teilnehmerinnen und Teilnehmer unserer Arbeitstreffen (ca. 100 Kolleginnen und Kollegen in fünf Jahren – mit einem harten Kern von 20-30 Personen) zu den jeweiligen Schwerpunkten konkrete Unterrichtsmaterialien, andererseits entwickelten sie auch selbst Materialien für den eigenen Unterricht, angepasst an die jeweilige Lerngruppe. Denn Unterrichten ist hochgradig individuell und hängt sowohl von der Lehrkraft als auch vom Leistungsvermögen der Klasse ab. Deswegen erschien es uns wichtig, vor allem mit den zugrundeliegenden Prinzipien vertraut zu machen, diese kritisch zu diskutieren und zusammen mit den erfahrenen Chemielehrerinnen und -lehrern Einsatzmöglichkeiten für den eigenen Unterricht zu erarbeiten.

Mit dieser Grundprämisse sollte auch dieses Heft gelesen werden. Natürlich sollen die gemeinsam erarbeiteten Materialien anderen Chemielehrkräften zur Verfügung gestellt werden. Gleichwohl werden sie kaum eine direkte Übernahme erlauben und es werden, wie bei jedem nicht selbsterstellten Lernmaterial, Adaptionen notwendig sein: Mal wird der logische Fortgang nicht der geplanten Sequenzierung entsprechen, mal die Sprache nicht angemessen scheinen, mal das gewählte Beispiel zu leicht und mal zu schwierig für die eigene Lerngruppe sein. Um diese Materialien anpassen zu können, ist es daher wichtig, auch mit der theoretischen Basis umgehen zu können. Deswegen enthält dieser Band auch die entsprechenden Theoriegrundlagen.

Mit Blick auf den Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung der nationalen Bildungsstandards für Chemie geht es hier nicht darum noch *mehr* Experimente oder neue Inhalte experimentell umzusetzen, sondern darum zu diskutieren, wieso überhaupt Experimente durchgeführt werden sollen und was sie zu leisten im Stande sind. Schülerinnen und Schüler haben schon immer die Experimentierphasen im Chemieunterricht bevorzugt, doch gelernt haben sie dabei meist leider wenig. Experimente sind zeitaufwändig, sowohl in der Durchführung als auch in der Vor- und Nachbereitung. Deswegen ist es wichtig,

sie möglichst lernwirksam einzusetzen. Ob bei einer Fällungsreaktion ein gelber oder ein weißer Niederschlag ausfällt, ist von sekundärer Bedeutung. Viel wichtiger ist, wieso man überhaupt eine Fällungsreaktion durchführt.

Der Gang der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung von der Frage bis zur Antwort ist nicht trivial und Schülerinnen und Schüler können ihn nicht selbst finden. Sie lernen ihn nicht quasi nebenbei, sondern benötigen explizite Unterstützung. Sie müssen die Arbeitsweise, den Weg der Erkenntnisgewinnung, lernen und immer wieder üben, bis sie auch selbstständig über die kleinen ‚Stolperfallen‘ hinwegfinden („Ein Experiment muss nicht immer die Ausgangshypothese bestätigen – was macht man dann?“). Vieles auf diesem Weg ist der studierten Chemielehrkraft zur Selbstverständlichkeit geworden („Natürlich musst du eine Erwartung an die Beobachtung haben!“) und wird deswegen im Unterricht nicht mehr expliziert, obwohl es sinnvoll wäre. Bei manchen Hinweisen fehlt vielleicht die Idee, wie man sie anders formulieren könnte (direkt oder indirekt), sodass alle Schülerinnen und Schüler sie verstehen. Manche Schülerinnen und Schüler brauchen wiederum eine andere Form von Lernmaterial, sodass sie sich den Gang der Erkenntnisgewinnung in ihrem eigenen Lerntempo erschließen können. Dazu können zum Beispiel Lösungsbeispiele als Lernmaterialien zum selbstständigen Lernen geeignet sein. Lernen ist ein individueller Prozess, der nicht durch *die* eine Lehrform angestoßen werden kann. Eine Vielzahl von Möglichkeiten bietet den Schülerinnen und Schülern unterschiedliche Zugänge, die sie individuell nutzen können.

Verstehen Sie die Beiträge dieses Bandes daher bitte als Anstöße für die Diskussion in der Fachgruppe oder gerne auch als Ideengeber für Ihre Unterrichtsvorbereitung. Dieser Band und das dahinter stehende Projekt wären ohne die Initiative der Stiftung Mercator sowie des Ministeriums für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen nicht zustande gekommen. Wir möchten deswegen an dieser Stelle unseren Dank zum Ausdruck bringen gegenüber der Stiftung, dem Ministerium sowie allen beteiligten Kolleginnen und Kollegen an den Universitäten. Vor allem aber gebührt unser Dank den Chemielehrerinnen und -lehrern im Projekt Ganz In, die in den vergangenen Jahren in den Arbeitstreffen der chemiedidaktischen Begleitung stets engagiert, kritisch, offen und produktiv an der Entwicklung ihres Unterrichts gearbeitet haben. Ein Ergebnis dieser Arbeit liegt nun vor.

Ich würde mich freuen, wenn dieser Band auch Impulse für Ihre eigene Unterrichtsentwicklung geben könnte. In diesem Sinne wünsche ich Ihnen eine spannende Lektüre.

Elke Sumfleth

Essen, im Januar 2016

1. Fördern im Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung – Experimentieren im Inquiry-Ansatz

Mit Verabschiedung der nationalen Bildungsstandards im Jahr 2004 (Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland [KMK], 2005b) sind dem Chemieunterricht auf der Sekundarstufe I neben der Fachwissensvermittlung drei vermeintlich zusätzliche Aufgaben zugekommen. Der Unterricht soll Schülerinnen und Schüler auch dazu befähigen, die Methoden der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung zu nutzen, fachbezogen zu kommunizieren und auf Basis von Fachwissen Bewertungen vorzunehmen. Während ein Teil der aktiven Lehrerinnen und Lehrer zurecht bemerkt, dass schon der Unterricht ‚vor den Standards‘ diese Bereiche berücksichtigt hat, sind auch Stimmen laut geworden, die in diesen zusätzlichen Zielbereichen das Potenzial für Überforderung und erhöhten Zeitdruck sehen. Daher wird im Folgenden exemplarisch am Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung gezeigt, wie dieser zielführend in den Unterricht integriert werden kann. Dieser Beitrag umreißt zunächst die zentralen Aspekte der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung im Chemieunterricht und illustriert anschließend, wie eine Förderung der naturwissenschaftlich-experimentellen Arbeitsweisen gelingen kann.

1. Erkenntnisgewinnung und *Scientific Inquiry*

In der Diskussion um den Stellenwert des Kompetenzbereichs Erkenntnisgewinnung im naturwissenschaftlichen Unterricht wird immer wieder auf die amerikanischen Bildungsstandards verwiesen (American Association for the Advancement of Science [AAAS], 1993; National Research Council [NRC], 2011), in denen eine wesentliche Säule des Science-Unterrichts durch den Bereich *Scientific Inquiry* gebildet wird, frei übersetzt als ‚naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung‘.

Ein Vergleich der vom NRC formulierten *Scientific Practices* mit den Bildungsstandards für Chemie zeigt im Folgenden, dass der Blick über den großen Teich auch Impulse für den deutschen Unterricht bereithalten kann. Darüber hinaus wird gezeigt, dass die Standards für Chemie sinnvoll mit den Standards für Biologie und Physik wechselwirken können. Vor allem Kontaktpunkte zwischen den Fächern bieten den Fachkonferenzen Möglichkeiten zur Verabredung fächerübergreifender Konzepte bzw. die Möglichkeit, Schulcurricula so zu gestalten, dass die Fachbeiträge zur Erkenntnisgewinnung ineinandergreifen. Am Beispiel der Erkenntnismethode des Chemieunterrichts werden daher grundlegende Überlegungen zur Einführung der experimentellen Methode angestellt, die für den erkenntnisorientierten Einsatz notwendig sind.

1.1 Der Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung

Bei der Entwicklung der nationalen Bildungsstandards für die naturwissenschaftlichen Fächer wurde für die drei Disziplinen (Biologie, Chemie, Physik) bewusst eine gemeinsame Struktur der Standards verabredet, um sowohl die Gemeinsamkeiten als auch die jeweiligen Spezifika angemessen berücksichtigen zu können. So wird in den Standardformulierungen aller drei Fächer (KMK, 2005a, 2005b, 2005c) der Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung ausgewiesen und in jeweils 8-13 Standards ausdifferenziert. Für das Fach Chemie werden im Einzelnen die folgenden Standards formuliert:

Die Schülerinnen und Schüler ...

- E1 erkennen und entwickeln Fragestellungen, die mit Hilfe chemischer Kenntnisse und Untersuchungen, insbesondere durch chemische Experimente, zu beantworten sind,
 - E2 planen geeignete Untersuchungen zur Überprüfung von Vermutungen und Hypothesen,
 - E3 führen qualitative und einfache quantitative experimentelle und andere Untersuchungen durch und protokollieren diese,
 - E4 beachten beim Experimentieren Sicherheits- und Umweltaspekte,
 - E5 erheben bei Untersuchungen, insbesondere in chemischen Experimenten, relevante Daten oder recherchieren sie,
 - E6 finden in erhobenen oder recherchierten Daten, Trends, Strukturen und Beziehungen, erklären diese und ziehen geeignete Schlussfolgerungen,
 - E7 nutzen geeignete Modelle (z. B. Atommodelle, Periodensystem der Elemente), um chemische Fragestellungen zu bearbeiten,
 - E8 zeigen exemplarisch Verknüpfungen zwischen gesellschaftlichen Entwicklungen und Erkenntnissen der Chemie auf.
- (KMK, 2005b, S. 12)

Es fällt bereits beim schnellen Überblick auf, dass die Standards einen deutlichen Schwerpunkt im Bereich der naturwissenschaftlichen Untersuchungen setzen (E1-E6). Dabei skizzieren die Standards in ihrer Abfolge bereits einen idealtypischen Verlauf von naturwissenschaftlichen Untersuchungen, auf den später noch einmal eingegangen wird.

Daneben sollen Schülerinnen und Schüler Fähigkeiten und Fertigkeiten zum Umgang mit naturwissenschaftlichen Modellen erwerben. Schließlich wird von ihnen zum Mittleren Schulabschluss erwartet, dass sie den Zusammenhang zwischen gesellschaftlichen Strömungen und naturwissenschaftlicher Entwicklung erfassen. Damit wird eine Brücke in den Bereich *Nature of Science* geschlagen, der das Wissen über das Wesen der Naturwissenschaften beschreibt und damit naturwissenschaftliches Wissen und naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung von bspw. geisteswissenschaftlichen Ansätzen abgrenzt (vgl. Lederman, 2007; Neumann, 2011; Neumann & Kremer, 2013).

Zieht man zum Vergleich die aktuellen US-amerikanischen Standardformulierungen der *Scientific Practices* heran, werden weitreichende Parallelen deutlich (s. Tabelle I.1).

Unterschiede zwischen den *Scientific Practices* und den Standards der KMK erklären sich aus unterschiedlichen Strukturen der gewählten Rahmen. So finden sich beispielsweise jene Kompetenzen, die in den KMK-Vorgaben unter E8 stehen („zeigen exemplarisch Verknüpfungen zwischen gesellschaftlichen Entwicklungen und Erkenntnissen der Chemie auf“) im Framework des NRC (National Research Council) als fachinhaltliche Lernziele wieder, die in den dort aufgeführten *Crosscutting Concepts* (domänenübergreifende Konzepte) ausdifferenziert werden (NRC, 2011, S. 83-102).

Tabelle I.1:
Vergleich der *Scientific Practices* des NRC und der Bildungsstandards für Chemie

K-12 Practices for Science Classrooms (adaptiert aus: NRC, 2011, S. 49–77)	Parallelen zu den Bildungsstandards für Chemie (KMK, 2005b)
1. Asking questions	E1
2. Developing and using models	E7
3. Planning and carrying out investigations	E2, E3, E5
4. Analyzing and interpreting data	E6
5. Using mathematics and computational thinking	(implizit: E6)
6. Constructing explanations	E6
7. Engaging in argument from evidence	Bereich Kommunikation
8. Obtaining, evaluating, and communicating information	Bereich Kommunikation, teils: E6

Folglich können Unterrichtsvorschläge des jüngeren amerikanischen Science-Unterrichts als Inspiration für den eigenen, erkenntnisorientierten Chemieunterricht der Sekundarstufe I herangezogen werden. Zur Illustration sei auf Praxisbeispiele hingewiesen, die sich explizit auf die Practices der Standards des NRC bezieht (recherchierbar über: <http://learningcenter.nsta.org/>). Ebenso lohnt sich der Blick auf Vorschläge zum britischen Naturwissenschaftsunterricht, der vor vergleichbaren Herausforderungen steht (z. B. <http://www.nationalstemcentre.org.uk/elibrary/>).

1.2 Erkenntnismethoden – Anschlusspotenziale

Neben dem Blick auf andere Traditionen kann es auch sinnvoll sein, den Blick auf die benachbarten Fächer zu richten, in denen sich häufig vergleichbare Aufgaben der Unterrichtsentwicklung stellen. Fachkonferenzen können daher im fächerübergreifenden Austausch zu gemeinsamen Lösungen finden.

Bei der Gegenüberstellung der Standards in den Fächern Biologie, Chemie und Physik (Tabelle I.2) fallen deutliche Parallelen auf. Es ist festzustellen, dass alle drei Fächer einen deutlichen Schwerpunkt auf die experimentelle Methode legen und in unterschiedlich ausgeprägter Art und Weise Schülerinnen und Schüler an den Umgang mit naturwissenschaftlichen Modellen heranzuführen. Die Reflexion naturwissenschaftlichen Wissens beziehungsweise naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung erscheint in allen drei Fächern eher randständig. Ein Schwerpunkt wird gerade in der Biologie auf das kriteriengeleitete Beobachten, Beschreiben und Vergleichen gelegt. Eine solche Zusammenschau der Standards eröffnet die Möglichkeit, Schulcurricula so zu gestalten, dass der Kompetenzerwerb im Bereich Erkenntnisgewinnung möglichst synergetisch und ohne allzu viele Redundanzen erfolgen kann. So können beispielsweise verlässliche Zeitpunkte festgelegt werden, bis zu denen Schülerinnen und Schüler:

- naturwissenschaftlich beantwortbare Fragen formulieren können,
- abhängige und unabhängige Variablen in einer Untersuchung unterscheiden können,
- Variablen in einer Untersuchung kontrollieren können,
- Beobachtungen von Erklärungen unterscheiden können,
- erste Idealisierungen im Sinne einer Modellierung vornehmen können oder
- die Grenzen von genutzten Modellen kritisch reflektieren können.

Die Entwicklung von Fähigkeiten und Fertigkeiten im Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung könnte durch einen gemeinsamen Entwicklungsplan, der die speziellen Stärken der Einzelfächer nutzt, insgesamt gestrafft und dadurch zielorientierter gestaltet werden. So kann zum Beispiel bereits die Biologie die Grenzen von Anschauungsmodellen thematisieren, die Chemie besonderes Augenmerk auf Variablenkontrolle legen und die Physik Aspekte der Datenaufbereitung in mathematischen ‚Modellen‘ ansprechen. Wie der Beitrag des Chemieunterrichts zur Gestaltung naturwissenschaftlich-experimenteller Phasen aussehen kann, wird im Folgenden näher beschrieben.

	Standards Biologie (KMK, 2005a, S. 14)	Standards Chemie (KMK, 2005b, S. 12)	Standards Physik (KMK, 2005c, S. 11)
Beschreiben, Vergleichen	E1 mikroskopieren Zellen und stellen sie in einer Zeichnung dar, E2 beschreiben und vergleichen Anatomie und Morphologie von Organismen, E3 analysieren die stammesgeschichtliche Verwandtschaft bzw. ökologisch bedingte Ähnlichkeit bei Organismen durch kriteriengeleitetes Vergleichen, ermitteln mithilfe geeigneter Bestimmungsliteratur im Ökosystem häufig vorkommende Arten,		E1 beschreiben Phänomene und führen sie auf bekannte physikalische Zusammenhänge zurück,
Untersuchen	E5 führen Untersuchungen mit geeigneten qualifizierenden oder quantifizierenden Verfahren durch, E6 planen einfache Experimente, führen die Experimente durch und/oder werten sie aus, E7 wenden Schritte aus dem experimentellen Weg der Erkenntnisgewinnung zur Erklärung an,	E1 erkennen und entwickeln Fragestellungen, die mit Hilfe chemischer Kenntnisse und Untersuchungen, insbesondere durch chemische Experimente, zu beantworten sind, E2 planen geeignete Untersuchungen zur Überprüfung von Vermutungen und Hypothesen, E3 führen qualitative und einfache quantitative experimentelle und andere Untersuchungen durch und protokollieren diese, E4 beachten beim Experimentieren Sicherheits- und Umweltaspekte, E5 erheben bei Untersuchungen, insbesondere in chemischen Experimenten, relevante Daten oder recherchieren sie, E6 finden in erhobenen oder recherchierten Daten, Trends, Strukturen und Beziehungen, erklären diese und ziehen geeignete Schlussfolgerungen,	E6 stellen an einfachen Beispielen Hypothesen auf, E7 führen einfache Experimente nach Anleitung durch und werten sie aus, E8 planen einfache Experimente, führen sie durch und dokumentieren die Ergebnisse, E9 werten gewonnene Daten aus, ggf. auch durch einfache Mathematisierungen,
Modellieren	E9 wenden Modelle zur Veranschaulichung von Struktur und Funktion an, E10 analysieren Wechselwirkungen mit Hilfe von Modellen, E11 beschreiben Speicherung und Weitergabe genetischer Information auch unter Anwendung geeigneter Modelle, E12 erklären dynamische Prozesse in Ökosystemen mithilfe von Modellvorstellungen, E13 beurteilen die Aussagekraft eines Modells,	E7 nutzen geeignete Modelle (z. B. Atommodelle, Periodensystem der Elemente), um chemische Fragestellungen zu bearbeiten,	E2 wählen Daten und Informationen aus verschiedenen Quellen zur Bearbeitung von Aufgaben und Problemen aus, prüfen sie auf Relevanz und ordnen sie, E3 verwenden Analogien und Modellvorstellungen zur Wissensgenerierung, E4 wenden einfache Formen der Mathematisierung an, E5 nehmen einfache Idealisierungen vor,
Reflektieren	E8 erörtern Tragweite und Grenzen von Untersuchungsanlage, -schritten und -ergebnissen.	E8 zeigen exemplarisch Verknüpfungen zwischen gesellschaftlichen Entwicklungen und Erkenntnissen der Chemie auf.	E10 beurteilen die Gültigkeit empirischer Ergebnisse und deren Verallgemeinerung.

Tabelle I.2: Gegenüberstellung der KMK-Bildungsstandards im Bereich Erkenntnisgewinnung

1.3 Die experimentelle Methode im Chemieunterricht

Vergleicht man die Schwerpunkte der drei Fächer (s. Tabelle I.2), so liegt der Schwerpunkt des Kompetenzbereichs Erkenntnisgewinnung im Fach Chemie eindeutig im Bereich der naturwissenschaftlichen Untersuchungen und damit auch im Bereich der experimentellen Methode. Sollen Schülerinnen und Schüler einen naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess erlernen (vgl. z.B. Abbildung I.1), den sie mittelfristig selbstständig durchlaufen können sollen, ist es wichtig, ihnen eine Strukturierungshilfe für diesen Prozess mit an die Hand zu geben (scaffolding, vgl. Lunetta, Hofstein & Clough, 2007). Eine solche Hilfe strukturiert den Prozess vereinfachend linear, sodass Schülerinnen und Schüler einen für sie logischen Weg nachvollziehen können. Der Weg der Erkenntnisgewinnung, der dabei in Schulen gezeichnet wird, ist nicht notwendigerweise identisch mit dem in der ‚echten‘ Wissenschaft (vgl. Rudolph, 2005). Es besteht aber auch keine schulische Notwendigkeit, authentische, naturwissenschaftliche Forschung im Kleinen abzubilden, sondern Schülerinnen und Schülern soll eine grundlegende Denkweise im Sinne eines

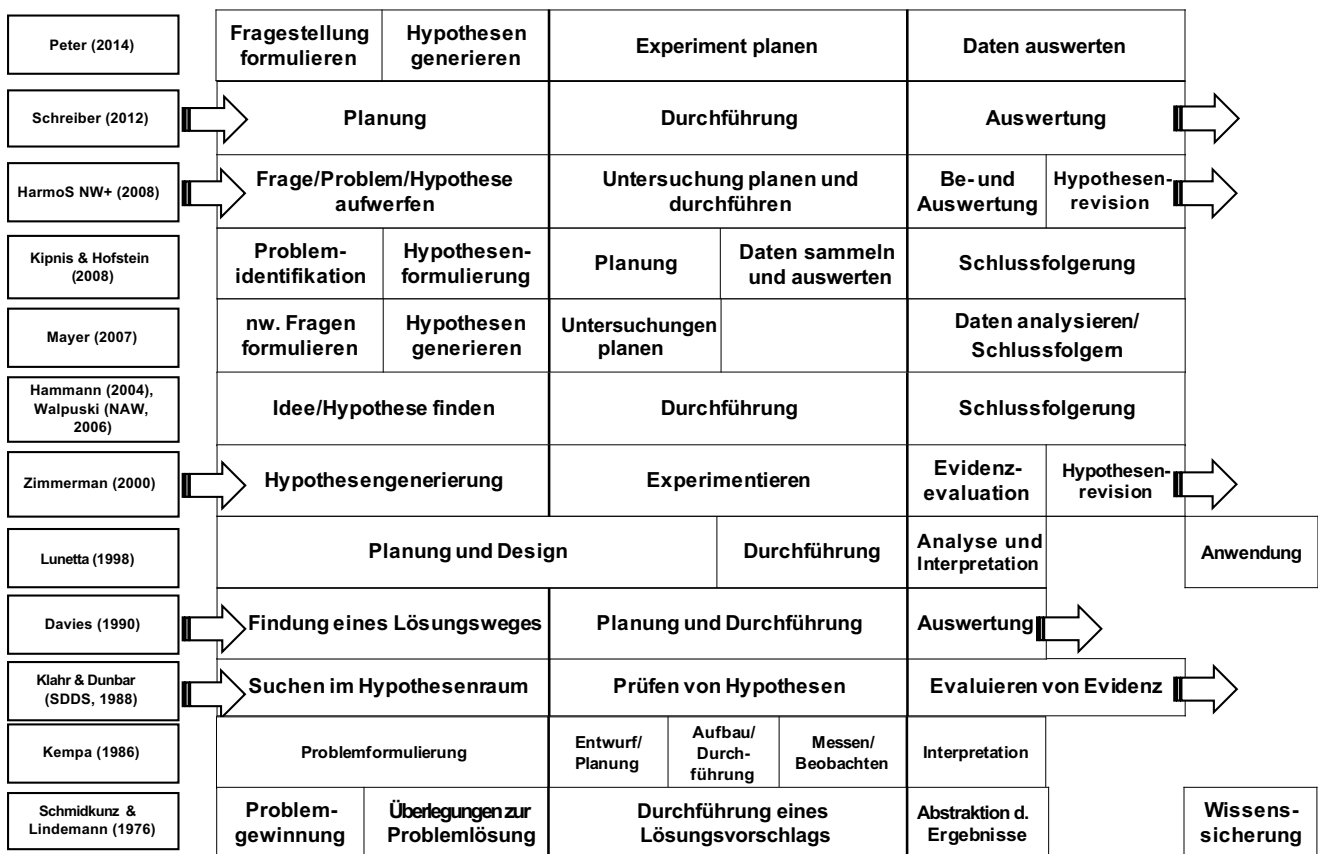


Abbildung I.1: Strukturierung des naturwissenschaftlich-experimentellen Arbeitens (erweitert aus: Emden und Sumfleth, 2012)

Modus der Weltbegegnung (vgl. Baumert, 2002) vermittelt werden. Die für den Unterricht vorgeschlagenen Strukturen erscheinen dabei mannigfaltig (vgl. Abbildung I.1), lassen sich aber im Wesentlichen zu einem vereinfachenden Prozess aus drei Schritten zusammenfassen (NAW-Ansatz, Naturwissenschaftliche Arbeitsweisen: Klos, Henke, Kieren, Walpuski & Sumfleth, 2008): [1] Idee finden, [2] Versuch durchführen, [3] Schlussfolgern.

Die Konzentration der experimentellen Methode auf diese drei Aspekte (Fragestellung, Durchführung, Ergebnis) erlaubt es, Schülerinnen und Schüler sukzessive an das Vorgehen beim naturwissenschaftlich-experimentellen Arbeiten heranzuführen. Die von Heron (1971) vorgeschlagenen Grade der Öffnung eines Experiments dienen dabei nach wie vor als probate Orientierung (vgl. Abbildung I.2 in einer Darstellung nach Bell, Smetana & Binns, 2005). So wird man Schülerinnen und Schülern, die über keinerlei Experimentier Erfahrung verfügen, in der Regel Experimentierarrangements präsentieren, in denen alle drei Aspekte vorgegeben sind (Bestätigungsexperimente). Mit wachsendem Expertisegrad der Schülerinnen und Schüler wird man das Experiment weiter öffnen und über die Stufen des vorstrukturierten bzw. geführten Experiments hin zur offenen Form übergehen, in der Schülerinnen und Schüler schließlich selbst entscheiden, welchen Untersuchungsfragen sie nachgehen wollen.

	Fragestellung	Vorgehen	Lösung
Bestätigungsexperiment	gegeben	gegeben	gegeben
Vorstrukturiertes Experiment	gegeben	gegeben	offen
Geführtes Experiment	gegeben	offen	offen
Offenes Experiment	offen	offen	offen

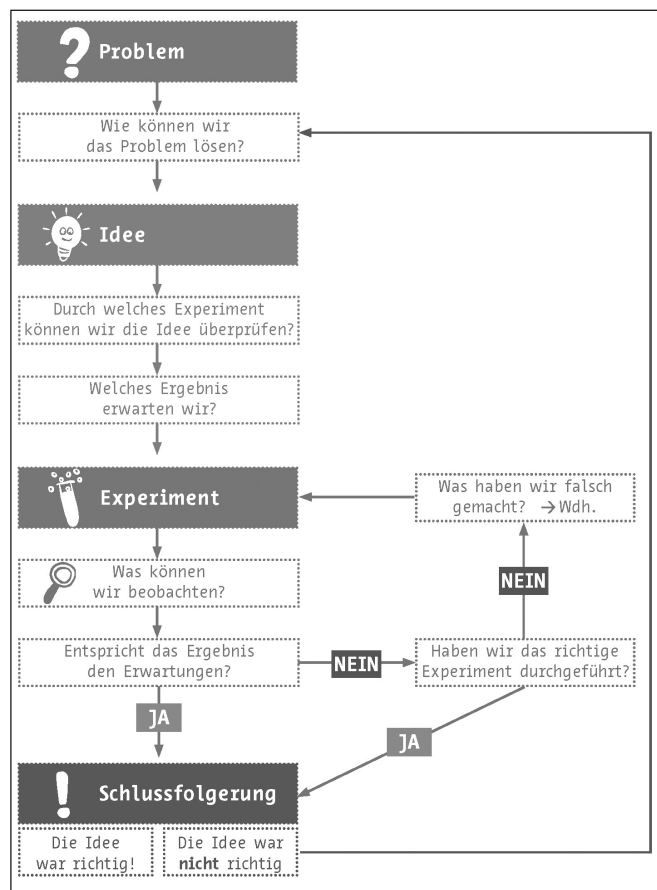
Abbildung I.2: Öffnungsgrade von Experimenten (nach: Bell et al., 2005)

2 Fördermöglichkeiten

2.1 Training naturwissenschaftlich-experimenteller Arbeitsweisen

Schülerinnen und Schüler können den Weg der naturwissenschaftlich-experimentellen Erkenntnisgewinnung nicht selbst (er-)finden, sondern sind auf einen entsprechenden Unterricht angewiesen, der diesen für sie explizit macht. Verstehen sie Experimente nicht als Mittel zum Beantworten von Fragen, so geht es für sie vor allem darum, spektakuläre Effekte zu produzieren (vgl. Lunetta, 1998; Schauble, Klopfer & Raghavan, 1991). Die innere Logik der experimentellen Methode kann ihnen in einem aufgabenbasierten Training vermittelt werden, dessen Wirkung auf das naturwissenschaftlich-experimentelle Arbeiten nachgewiesen werden konnte (Wahser, 2007). Der darin skizzierte Erkenntnisweg wird in einem Flussdiagramm nachgezeichnet (Abbildung I.3), das Schülerinnen und Schüler anschließend als Strukturierungshilfe für ihre eigenen Experimente nutzen können. Die Materialien zum Training sind von Hübinger, Emden und Sumfleth (2009) in die kostenfrei zum Download bereitstehenden Unterrichtsmaterialien für den naturwissenschaftlichen Unterricht integriert worden (URL s. Anhang). Das Training gliedert sich in drei Teile, in denen Schülerinnen und Schüler am Beispiel der Entwicklung der Kohlefadenlampe durch Edison den Erkenntnisprozess mehrfach durchlaufen. Dabei legt jeder der Teile eigene Schwerpunkte. Im ersten Teil lernen Schülerinnen und Schüler den Erkenntnisprozess in Gänze kennen und die Strukturierungshilfe wird daraus abgeleitet. Im zweiten Teil werden sie für die Passung zwischen Idee und Entwurf eines Versuchs sensibilisiert. Schließlich wird im dritten Teil des Trainings mit ihnen eingeübt, wie aus der gewonnenen Evidenz sinnvolle Schlussfolgerungen gezogen werden und wie mit negativer Evidenz umgegangen wird.

Abbildung I.3:
Strukturierungshilfe
für das naturwissen-
schaftlich-experimentelle
Arbeiten (aus Hübinger
et al., 2009)



2.2 Interaktionsboxen

Haben Schülerinnen und Schüler einmal die Struktur des naturwissenschaftlich-experimentellen Vorgehens verstanden, brauchen sie Angebote, an denen sie ihre Fähigkeiten und Fertigkeiten weiter festigen können. Ein Arrangement zum kooperativen experimentellen Arbeiten bietet die Interaktionsbox (Sumfleth, Rumann & Nicolai, 2004).

Hierbei werden Schülerinnen und Schüler vor ein naturwissenschaftliches Problem gestellt, das sie kooperativ mit dem in einer Plastikbox vorgegebenen Materialangebot lösen sollen (vgl. Abbildung I.4). Die Materialauswahl ist so gestaltet, das prinzipiell mehr als ein Lösungsweg möglich ist. Gleichzeitig können Materialien angeboten werden, die für eine korrekte Lösung irrelevant sind, wohlmöglich aber bekannte Fehlvorstellungen von Schülerinnen und Schülern korrigieren können: Lautet beispielsweise der Arbeitsauftrag, eine Säure unschädlich zu machen, assoziieren Schülerinnen und Schüler oftmals ‚süß‘ als Gegenteil von ‚sauer‘. Sie werden entsprechend versuchen, eine saure Lösung mit Haushaltszucker zu neutralisieren, wenn dieser zur Verfügung steht. Die selbst gefundene Erkenntnis, dass dies nicht gelingt, ist genauso wertvoll wie die Erkenntnis, dass es dafür eine basische Lösung braucht, und ist unmittelbarer als die noch so oft von Lehrkräften ausgesprochene Versicherung, dass Zucker keine Säure neutralisiert. Neben dem in diesem Beispiel dargestellten fachlichen Lernen können solche ‚Irrwege‘ auch dazu genutzt werden, die naturwissenschaftlich-experimentelle Arbeitsweise noch einmal nachzuvollziehen. Jeder ‚Irrweg‘ führt dazu, dass eine Hypothese verworfen oder weiterentwickelt werden muss. Dies führt zur Planung eines neuen Experiments und zu einer Schlussfolgerung über den bisherigen Prozess. Dies kann sich solange wiederholen, bis das Problem endgültig gelöst wurde. Solche zusätzlichen Materialien dienen demnach nicht ausschließlich dem fachlichen Lernen, im Sinne der Reduktion von Schülerfehlvorstellungen, sondern üben auch die experimentelle Methode weiter ein. Dies veranschaulicht gleichzeitig, dass sich das Lernen auf beiden Ebenen – fachliches Lernen und Lernen im Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung – gut miteinander kombinieren lässt.

Wesentlich am Konzept der Interaktionsbox ist, dass Schülerinnen und Schüler ihre Untersuchung kooperativ gestalten und so in eine positive wechselseitige Abhängigkeit eintreten (Johnson & Johnson, 2008). Das Vorgehen beim Versuch kann durch Hinweis-karten in der Box unterstützt werden (vgl. Emden & Koenen, in diesem Band, Kapitel III), die inhaltliche Impulse geben oder die Handhabung von Experimentiermaterial be-schreiben. Gleichermäßen hat es sich als förderlich erwiesen, wenn Schülerinnen und Schüler Feedback von Lehrkräften dazu erhalten, ob ihr geplanter Ansatz zielführend ist (Walpuski, 2006).

Im Folgenden werden zwei Beispiele für mögliche Interaktionsboxen beschrieben. Auch hier tritt neben das fachliche Lernen die Betonung des naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozesses. Durch explizite Thematisierung dieses Prozesses im Anschluss an die Bearbeitung oder eine ergänzende Aufgabenstellung zur Fokussierung auf den Prozess kann das Lernen in diesem Bereich weiter unterstützt werden.



Abbildung I.4:
Beispiel für eine
Interaktionsbox

Beispiel: Unterscheidung von Trink- und Salzwasser

Der Arbeitsauftrag fordert Schülerinnen und Schüler auf, Salzwasser von Trinkwasser zu unterscheiden, ohne davon kosten zu müssen. Ihnen stehen dafür folgende Materialien zur Verfügung: Proben von Trink- und Salzwasser, Messzylinder, Briefwaage, Teelichtbrenner (bestehend aus Teelicht, Uhrglas und dem Drahtkorb um einen Sektkorken), Einwegspritzen, Leitungswasser, Kochsalz und frische Karottenstücke (siehe auch Abbildung I.4).

Zur Lösung können die Schülerinnen und Schüler entweder (a) zwei Proben auf dem Teelichtbrenner eindampfen und die Menge der Rückstände betrachten, (b) mit Messzylinder und Briefwaage die Dichte beider Proben bestimmen oder (c) vergleichend feststellen, dass Karotten in Salzwasser schwimmen, im Trinkwasser jedoch zu Boden sinken.

Ein inhaltlicher Hinweis kann Schülerinnen und Schüler auf die Spur der Dichte bringen und die Bedingungen für Schwimmen und Sinken ins Gedächtnis rufen. Der Versuchsansatz zum Eindampfen greift unmittelbar auf Alltagserfahrungen der Schülerinnen und Schüler zurück.

Beispiel: Verhalten von Nichtmetalloxiden in wässriger Lösung

Schülerinnen und Schüler sollen anhand einer Auswahl an Gasproben eine Regelmäßigkeit finden, wie das Lösen von Gasen den pH-Wert einer Lösung beeinflusst. Hierzu stehen ihnen zur Verfügung – jeweils abgefüllt in mit einem Luer-Lock-Hahn verschließbaren Einwegspritzen aus dem Medizinbedarf – Proben von N_2 , O_2 , CO_2 und SO_2 , Reagenzgläser, entionisiertes Wasser und pH-Teststäbchen. Zur Erhöhung der Kontaktzeit der Gase mit dem Wasser können zusätzlich Sprudelsteine aus dem Aquaristikbedarf eingesetzt werden.

Der Vergleich der vier entstehenden Lösungen führt die Schülerinnen und Schüler zu der Erkenntnis, dass Nichtmetalloxide in wässriger Lösung sauer reagieren. Der Einsatz von elementarem Sauerstoff soll – ebenso wie der von Stickstoff – zeigen, dass elementare Gase keine pH-Veränderung hervorrufen. Darüber hinaus können die Schülerinnen und Schüler erkennen, dass der Sauerstoff in CO_2 und SO_2 ‚anders‘ vorliegen muss (gebunden) als im elementaren Zustand, da das Reaktionsverhalten ein anderes ist, obwohl in allen drei Summenformeln „ O_2 “ auftaucht. Dies greift eine bekannte Schülervorstellung auf, nach der Summenformeln oftmals nicht als Verbindung sondern als Stoffgemisch interpretiert werden (vgl. Barke & Harsch, 2011). Inhaltliche Hinweiskarten können die Unterscheidung zwischen Metallen und Nichtmetallen in Erinnerung rufen bzw. den Gegensatz zwischen Verbindung und Stoffgemisch ansprechen.

2.3 Experimentierboxen

Koenen (2014) hat das Konzept der Interaktionsbox für den Einsatz in Förderschienen und Lernzeiten an Ganztagsgymnasien adaptiert. Hierzu hat sie das eigentlich kooperativ angelegte Lernarrangement in ein individualisiertes Angebot umgewandelt, da Schülerinnen und Schüler in Förderschienen und Lernzeiten in der Regel in Einzelarbeit lernen. Diese Adaptionen haben zu sogenannten Experimentierboxen geführt. Die anderen Charakteristika einer Interaktionsbox, wie zum Beispiel das naturwissenschaftliche Problem, welches mithilfe eines Materialangebots gelöst werden soll, bleiben erhalten. Hinweiskarten zur Unterstützung bei der Lösung sind ebenfalls denkbar. Ebenso ist auch der Einsatz zusätzlicher Materialien denkbar, die nicht zwangsläufig der Lösung des Problems dienen. Die Entscheidung für oder gegen solche Materialien hängt, eben-

so wie bei einer Interaktionsbox, von dem Lernziel ab, welches erreicht werden soll. Der zentrale Unterschied zwischen einer Experimentierbox und einer Interaktionsbox liegt demnach in der Sozialform. Alternativ zu einer expliziten Thematisierung der Lösung im Rahmen des Unterrichts, welche in beispielsweise Förderschienen nicht immer möglich ist, kann eine Lösungskarte integriert werden. Dieses ermöglicht den Schülerinnen und Schülern durch das Feedback ihren Lösungsprozess abschließend zu reflektieren (Narciss, 2006).

Ebenso wie das Konzept der Interaktionsboxen in Experimentierboxen übersetzt werden kann, ist die Gegenrichtung vorstellbar, sodass durch leichte Adaptionen der Beispiele stärker individualisierte oder stärker kooperative Lernarrangements entstehen können (zu Öffnungsgraden von Experimentiersituation vgl. Koenen, in diesem Band, Kapitel II). Im Folgenden finden sich zwei Beispiele für mögliche Experimentierboxen.

Beispiel: Modellversuch zur Diffusion

Ausgangspunkt ist die Schilderung einer Alltagssituation, in der ein Kind sein Schokomüsli mit Milch übergießt und anschließend kurz den Raum verlässt. Als es wieder zurückkehrt, hat sich die Milch braun gefärbt, obwohl niemand das Müsli umgerührt hat. Das Kind entschließt sich diesem Phänomen auf den Grund zu gehen.

Hierzu stehen ihm ein Zuckerwürfel, blaue Tinte, eine flache Schale und Leitungswasser zur Verfügung. Schülerinnen und Schüler müssen zur Lösung des Problems ein Modellexperiment entwickeln. Hierin werden sie durch Hinweiskarten zur Methode unterstützt, die erläutern, dass in einem Modellexperiment Stellvertretersubstanzen zum Einsatz kommen. Eine weitere Hinweiskarte leitet sie zum Abgleich der Modellsubstanzen mit der Realität an (Milch – Wasser, Schokofarbe – Tinte, Müsli – Zuckerwürfel). Die Durchführung des Versuchs ermöglicht ihnen dann die Beobachtung, dass sich allein durch den Lösevorgang die Farbe in Schwaden im gesamten Wasser verteilt. Die Einführung des Begriffs ‚Diffusion‘ und die Interpretation im Kugelteilchenmodell bleibt schließlich der Lösungskarte vorbehalten (Koenen, 2014).

Beispiel: Auftrieb in Abhängigkeit vom Salzgehalt einer Lösung

Wiederum ist die Beobachtung eines Kindes Ausgangspunkt des Problems: Auf der Abbildung in einem Reiseprospekt über das Tote Meer ist ein Badender zu sehen, der scheinbar auf dem Wasser schwimmend die Zeitung liest. Da das Kind aus der eigenen Erfahrung weiß, dass es im Schwimmbad im Wasser untergeht, wenn es sich nicht bewegt, kann es sich das Phänomen zunächst nicht erklären.

Die Experimentiermaterialien umfassen drei Bechergläser, eine Briefwaage, entionisiertes Wasser, Kochsalz und ein hartgekochtes Ei. Wie schon im ersten Beispiel werden auch hier Schülerinnen und Schüler ermutigt, ein Modellexperiment durchzuführen. Dazu gibt eine Hinweiskarte Aufschluss über den Salzgehalt des Toten Meers im Vergleich zu anderen Badegewässern. Die Schülerinnen und Schüler können nun versuchen die Bedingungen im Toten Meer durch Lösen großer Mengen von Kochsalz zu simulieren. Bringen sie dann das gekochte Ei in die so gewonnene Sole ein und vergleichen dies mit dem Verhalten des Eies in normalem Leitungswasser, stellen sie fest, dass das Ei in der hochkonzentrierten Salzlösung schwimmt. Da es als Stellvertreter für den menschlichen Körper dient, können sie erkennen, dass das Bild aus dem Reiseprospekt nicht – wie sie vermutet hatten – manipuliert ist.

Die inhaltliche Hinweiskarte fasst schließlich zusammen, dass durch das Lösen des Kochsalzes im Wasser eine Masseerhöhung auftritt, ohne dass das Volumen der Lösung

nennenswert steigt. Entsprechend wird die Dichte gesteigert und zwar so stark, dass sie sogar die Dichte des gekochten Eis übersteigt, das infolgedessen an der Oberfläche schwimmt. Eine differenzierte Betrachtung der wirkenden Kräfte unterbleibt an dieser Stelle mit Rücksicht auf den Einsatz im Anfangsunterricht, könnte aber mühelos nachgearbeitet werden (Koenen, 2014).

3. Fazit

Der vorliegende Beitrag hat gezeigt, dass eine Förderung der Schülerfähigkeiten im Bereich Erkenntnisgewinnung gleichermaßen vom Blick über die Tellerränder des Faches und des deutschen Kontexts profitieren kann. Potenziale zur fächerübergreifenden Abstimmung an den Schulen wurden aufgezeigt und ein Beitrag des Faches Chemie am Beispiel der naturwissenschaftlich-experimentellen Arbeitsweisen skizziert, und zwar sowohl für kooperative wie auch für individuelle Arbeitsphasen. Illustrierende Beispiele und weitere Quellen finden sich im Anhang, wobei der Fokus der Darstellung stets auf der Vorstellung der Konstruktionsprinzipien liegt, sodass Lehrkräfte selbstständig entsprechende Angebote für ihre Bedarfe erstellen können. Denn vorgefertigte Materialangebote können in der Regel nur mit Einschränkungen in den eigenen Unterricht eingebunden werden, da sie ohne Kenntnis der jeweiligen Bedingungen erstellt worden sind.

II. Gestaltung von Experimentiersituationen – Wahl verschiedener Öffnungsgrade

1. Gestaltungsmöglichkeiten von Experimentiersituationen

Im vorangegangenen Beitrag zur Förderung im Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung wurden bereits die von Herron (1971) vorgeschlagenen Grade der Öffnung eines Experiments kurz thematisiert. Er unterscheidet zwischen vollständig offenen Experimenten, geführten Experimenten, vorstrukturierten Experimenten und Bestätigungsexperimenten, die nach Bell et al. (2005) vollständig geschlossen gestaltet sind (vgl. Abbildung I.2). Diese vier Arten des Experiments unterscheiden sich durch das Vorhandensein bzw. Fehlen einer Fragestellung, des Vorgehens oder der Lösung (siehe Kapitel I). Fragen, die sich stellen, sind, ob es nicht auch innerhalb eines geführten Experiments (Fragestellung gegeben, Vorgehen offen, Lösung offen) verschiedene Öffnungsgrade geben kann und wie sich diese in ihrer Form gestalten lassen.

Eine weitere Frage, die man sich stellen muss, wenn man Experimente im Unterricht einsetzt, ist, auf welcher Ebene diese eigentlich thematisiert werden sollen. Soll der Fokus allein auf der fachinhaltlichen Auswertung des Experiments liegen oder soll auch der Lösungsweg im Sinne des naturwissenschaftlich-experimentellen Arbeitens thematisiert werden? In Abhängigkeit von dieser Entscheidung steht dann auch die Wahl des entsprechenden Lernmaterials. Als eine mögliche Unterstützungsmöglichkeit bei der Entscheidung zur Gestaltung der Experimentiersituation kann Abbildung II.1 dienen. Diese Abbildung visualisiert die Öffnungsgrade der Experimentiersituation bezüglich der beiden Ebenen, durch aus deren Perspektive ein Experiment betrachtet werden kann.

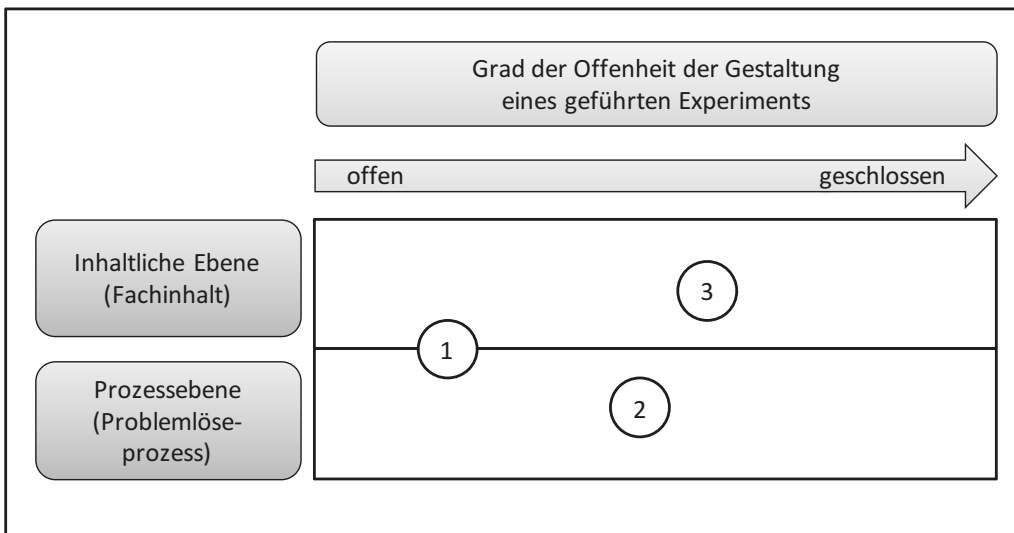


Abbildung II.1:
Zusammenhang zwischen dem Grad der Offenheit der Gestaltung eines geführten Experiments (vgl. Bell et al., 2005; Herron, 1971) und den beiden Ebenen, auf denen eine Betrachtung des Experiments möglich ist

1.1 Öffnungsgrade innerhalb des geführten Experiments

Ein geführtes Experiment zeichnet sich dadurch aus, dass lediglich die Fragestellung gegeben ist, das Vorgehen zur Lösung der Fragestellung jedoch ist offen (Bell et al., 2005). In Abbildung II.1 wird diese Situation durch die Nummer 1 markiert. In der Bearbeitung der Aufgabenstellung sind die Schülerinnen und Schüler völlig frei und sie erhalten kein Unterstützungsangebot. Eine solche Art von Experimentiersituation setzt einen relativ hohen Grad an Vorwissen ebenso voraus wie ausgepräg-

te experimentelle Fähigkeiten. Zwar ist es tendenziell auch möglich, allein durch ‚Trial and Error‘ zum Ziel zu gelangen, jedoch ist dies in der Regel nicht das gewünschte Vorgehen und darüber hinaus erweist sich dieser Weg selten als effizient. Hypothesengeleitetes Experimentieren wäre im Sinne des Kompetenzbereichs Erkenntnisgewinnung ein geeignetes Vorgehen bei der Bearbeitung einer solchen Aufgabe. Je weniger Schülerinnen und Schüler über Vorwissen und Vorerfahrungen verfügen, desto stärker sind sie auf Unterstützungsangebote angewiesen, um die Aufgabe kompetenzorientiert bearbeiten zu können. Dies bedeutet nicht, dass ihnen direkt das gesamte Vorgehen im Sinne eines vollkommen geschlossenen Vorgehens (z. B. im Rahmen einer Kochbuchanleitung) zur Verfügung gestellt werden muss. Dabei würde es sich nach Herron (1971) dann um ein vorstrukturiertes Experiment handeln.

Es gibt jedoch die Möglichkeit, den Öffnungsgrad zwischen diesen beiden Polen (kein Unterstützungsangebot vs. Vorgabe des Lösungsweges) beliebig zu verschieben. Dies wird anhand Nummern 2 und 3 in der Abbildung II.1 deutlich. Die Verschiebung nach rechts (stärker geschlossen) oder links (stärker geöffnet) erfolgt über die Gestaltung der Hilfestellungen, die den Schülerinnen und Schülern zur Verfügung gestellt werden. Auch bei der Unterstützung durch Hilfestellungen sind die Schülerinnen und Schüler in der Bearbeitung der Aufgabenstellung im Grunde völlig frei, sie können selbstständig darüber entscheiden, welche Hilfestellung sie in welcher Form nutzen möchten. Eine Möglichkeit zur Unterstützung in der Strukturierung des Vorgehens sind Hilfekarten. Einige werden exemplarisch in Kapitel III dieses Heftes genauer vorgestellt. Eine weitere Möglichkeit zur Unterstützung ist die Nutzung von Protokollvorlagen. Diese ermöglichen den Schülerinnen und Schülern die Strukturierung ihres Arbeitsprozesses. Eine solche Protokollvorlage kann darüber hinaus Hinweise zur Bearbeitung der Aufgabenstellung geben, sodass der Grad der Offenheit der Aufgabe ein wenig reduziert wird.

1.2. Verschiedene Ebenen der Betrachtung eines Experiments

Neben der Offenheit der Gestaltung des Vorgehens bei der Lösung einer Aufgabe ist auch relevant, auf welcher Ebene die Betrachtung der Aufgabe erfolgen soll. Für Schülerinnen und Schüler ist es häufig sehr schwierig, zwischen der Ebene fachinhaltlichen Lernens und einer Prozessebene zu unterscheiden, die sich problemlösendem Lernen durch naturwissenschaftlich-experimentelle Arbeitsweisen widmet. Dies liegt nicht zuletzt daran, dass diese Ebenen miteinander verknüpft sind.

Des Weiteren ist das Experiment in der Regel ein zentraler und spezifischer Schritt im Unterrichtsprozess und daher eng mit dem Lernerfolg verknüpft (vgl. Tesch & Duit, 2004). In experimentorientierten Lernprozessen müssen Schülerinnen und Schüler nach Tesch und Duit (2004) zirkelhaft den Bezug zwischen einem Experiment und seiner konzeptuellen Basis erschließen (siehe Abbildung II.2). Aus dem Experiment werden inhaltliche Zusammenhänge abgeleitet und aus den Zusammenhängen werden andererseits neue Hypothesen generiert, die in Experimenten überprüft werden.

Zum Erlernen von Inhalten aus dem Bereich Erkenntnisgewinnung ist es notwendig, diese Inhalte explizit zu thematisieren und die Prozessebene bewusst zu fokussieren. Dies kann über Hilfekarten, Protokollvorlagen oder in der abschließenden Besprechung des Experiments im Rahmen des Unterrichts geschehen.

Der Fokus der Auswertung des Experiments kann entweder nur auf eine der beiden Ebenen oder aber auch auf beide Ebenen gelegt werden. Im Rückbezug zur Gestaltung von Experimentiersituationen bedeutet dies, dass die in Abbildung II.1 dargestellten Kreise in ihrer Höhe verschiebbar sind je nachdem, wo der Fokus des Experiments liegen soll (1: Fokus auf beiden Ebenen, 2: Fokus auf der Prozessebene, 3: Fokus auf der fachinhaltlichen Ebene). Die enge Verknüpfung dieser beiden Ebenen verdeutlicht auch, dass es

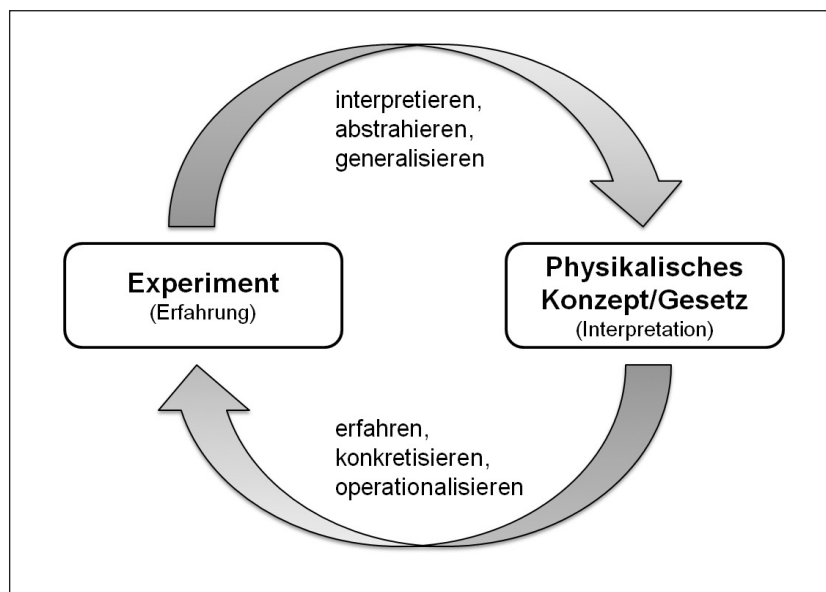


Abbildung II.2:
Zusammenhang zwischen
Experiment und Fachwissen
(adaptiert nach Tesch &
Duit, 2004, S. 53)

sehr gut möglich ist, beide miteinander zu kombinieren, sodass die Thematisierung des Kompetenzbereichs Erkenntnisgewinnung im Unterricht nicht notwendigerweise zu Lasten des Anteils an zu erlernenden Fachinhalten gehen muss.

2. Beispiele zur Gestaltung von Experimentiersituationen mit unterschiedlichem Öffnungsgrad

Im Folgenden sollen einige Beispiele zur Gestaltung einer Experimentiersituation mit unterschiedlichem Fokus auf die beiden Ebenen (fachinhaltliche Ebene, Prozessebene) und mit unterschiedlichem Öffnungsgrad dargestellt werden.

2.1 Mittlerer Öffnungsgrad mit Fokus auf den Erkenntnisgewinnungsprozess

Ein Beispiel für eine Experimentiersituation mit einer gegebenen Aufgabenstellung und einem geringen bis mittleren Grad an Offenheit bei der Lösung der Aufgabenstellung liegt vor, wenn die Schülerinnen und Schüler eine Experimentierbox erhalten, die verschiedene Materialien enthält und eine Aufgabenstellung, in der ein Problem beschrieben wird, welches gelöst werden soll. Der Fokus bei der Bearbeitung der Aufgabe soll dabei primär auf der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung liegen. Ein mögliches Ziel dieser Stunde ist: Die Schülerinnen und Schüler sollen sich mit dem naturwissenschaftlichen Problemlöseprozess auseinandersetzen, ihn durchlaufen und reflektieren. Ein solches Ziel setzt voraus, dass der Prozess den Schülerinnen und Schülern zumindest in seinen Grundzügen bereits bekannt ist. Ein Training zum Erlernen dieses Prozesses mit Fokus auf wesentliche Elemente wurde bereits in Kapitel I kurz thematisiert. Die zusätzlichen Hilfestellungen, die die Schülerinnen und Schüler während der Bearbeitung der Aufgabe erhalten, sollten den vereinfachten Prozess der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung anleiten (Findung einer Idee, Planung und Durchführung eines Experiments, Ziehen einer Schlussfolgerung (vgl. Klos, Henke, Kieren, Walpuski & Sumfleth, 2008)). Eine Möglichkeit der Unterstützung besteht darin, eine Strukturierungshilfe in Form eines Flussdiagrammes zur Verfügung zu stellen, die den Prozess veranschaulicht (vgl. Ab-

Abbildung II.3:
Ausschnitt aus einer
Protokollvorlage,
die den Prozess der
naturwissenschaftlichen
Erkenntnisgewinnung
fokussiert (nach Emden,
2011)

Das machen wir gerade	
 Wir fragen uns gerade:	
 Wir haben gerade diese Idee:	
 Wir führen gerade diesen Versuch durch:	
 Wir können gerade sehen, dass ...	
 Wir haben gerade DAS herausgefunden:	

bildung I.3). Eine weitere Möglichkeit könnte eine Protokollvorlage sein, die die einzelnen Prozessschritte fokussiert. Wie detailliert diese Protokollvorlage gestaltet ist, hängt von den individuellen Voraussetzungen der Schülerinnen und Schüler ab. Ein mögliches Beispiel für die Strukturierung einer solchen Vorlage findet sich in Abbildung II.3. Bei der abschließenden Besprechung sollte der Fokus der Auswertung entsprechend auf den Prozess und damit auf das Vorgehen der Schülerinnen und Schüler gelegt werden (Welche Idee hattet ihr?, Wie sah euer Experiment aus?, Warum habt ihr es so geplant, wie ihr es geplant habt?, u. ä.). Sollte eine Besprechung im Unterricht nicht möglich sein, so kann alternativ auch eine Lösungskarte verwendet werden, die es den Schülerinnen und Schülern ermöglicht, ihre Lösung mit der prozessbezogenen Karte abzugleichen. Ein Beispiel für die Gestaltung einer solchen Karte findet sich in Abbildung II.4. Sie erlaubt es den Schülerinnen und Schülern noch einmal rückblickend ihren Lösungsprozess nachzuvollziehen und zu reflektieren.

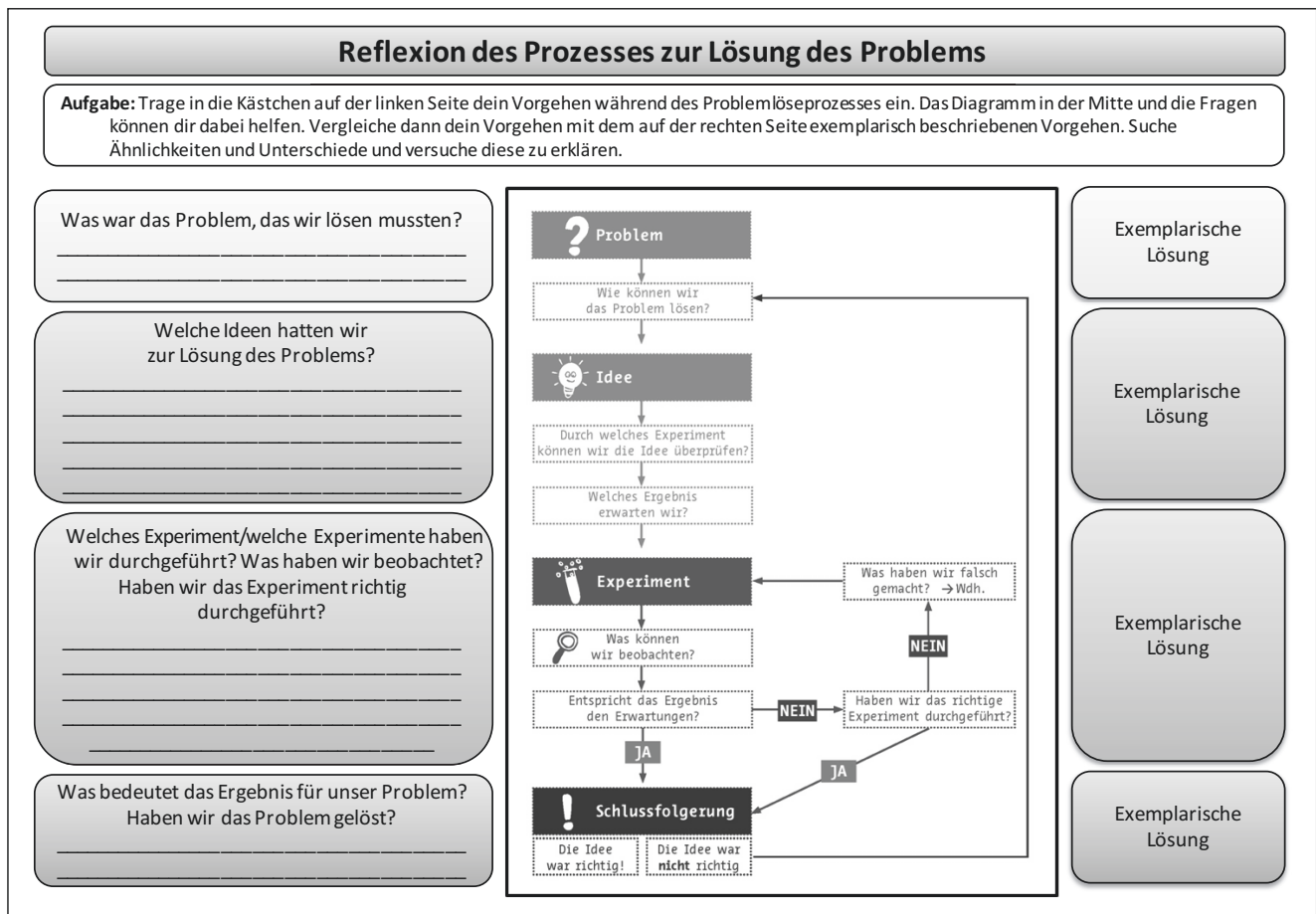


Abbildung II.4: Beispiel einer Lösungskarte mit Bezug zur Prozessebene

2.2 Mittlerer Öffnungsgrad mit Fokus auf den Fachinhalt

Die Ausgangssituation entspricht der in Abschnitt 2.1. beschriebenen Situation. Die Schülerinnen und Schüler erhalten eine Experimentierbox und eine Aufgabenstellung. Der Fokus soll hierbei auf dem Erlernen des Fachinhalts liegen. Entsprechend sollte dieser in den zur Verfügung gestellten Hilfen thematisiert werden. Auch hier stellen Hilfekarten eine gute Möglichkeit zur Unterstützung der Schülerinnen und Schüler dar. In Kapitel III wird explizit auf die Gestaltung von Hilfekarten auf fachlicher Ebene eingegangen und einige Karten werden exemplarisch vorgestellt. Daher wird an dieser Stelle darauf verzichtet. In der Auswertung des Versuchs sollte der Fokus wiederum auf den Fachinhalt gelegt werden. Dieser kann im anschließenden Unterrichtsgang vertieft werden. Prinzipiell besteht auch hier die Möglichkeit, eine Lösungskarte vorzuhalten, wenn die Schülerinnen und Schüler z. B. außerhalb des Regelunterrichts mit einer solchen Experimentierbox arbeiten. Es ist an dieser Stelle dann ausreichend, wenn die Karte ausschließlich den für das Experiment zentralen Fachinhalt thematisiert und nicht das Vorgehen während der Bearbeitung der Aufgabe. Abbildung II.5 zeigt ein Beispiel für eine solche Lösungskarte auf fachinhaltlicher Ebene, sie bezieht sich auf die experimentelle Identifizierung von Salzwasser.

Abbildung II.5:
Beispiel einer Lösungskarte
auf fachinhaltlicher Ebene

Erklärung

Man kann durch das Verdampfen von Wasser Salz aus Meerwasser gewinnen, weil das Salz selbst erst bei sehr hohen Temperaturen verdampft. Wenn Salz im Wasser vorhanden ist, dann bleibt das Salz nach dem Verdampfen des Wassers als weißer Rückstand zurück. Diesen Vorgang nennt man Eindampfen. Auf diese Art und Weise wird auch das Salz gewonnen, das in der Küche verwendet wird. Im Meerwasser ist Salz gelöst. Dieses wird in warmen Regionen in flache Becken gepumpt. Wenn das Meerwasser dann verdampft, bleibt Salz zurück.

2.3 Mittlerer Öffnungsgrad mit Fokus auf den Fachinhalt und den Erkenntnisgewinnungsprozess

Bei einer Experimentiersituation, in der der Fokus auf beiden Ebenen liegen soll, ist es entsprechend notwendig, beide Ebenen explizit zu thematisieren. Auch dies kann im Rahmen der Arbeit mit einer solchen Experimentierbox geschehen. Es ist dann notwendig, die Unterstützungsmaßnahmen, die für beide Ebenen bereits beschrieben wurden, miteinander zu kombinieren. Im einfachsten Fall bedeutet dies, getrennte Hilfestellungskarten für beide Ebenen zur Verfügung zu stellen. Diese können beispielsweise farbig unterschiedlich kodiert sein, sodass Schülerinnen und Schüler selbstständig erkennen können, auf welcher Ebene sie Hilfe in Anspruch nehmen. Alternativ lassen sich die verschiedenen Arten von Karten auch ineinander integrieren, solange eine Trennung der beiden Ebenen nachvollziehbar bleibt. In der Besprechung der Aufgabe sollte der Fokus dann entsprechend auch auf beide Ebenen gelegt werden und eine Trennung zwischen ihnen herausgearbeitet werden. Im Rahmen einer Sicherung an der Tafel könnte zum Beispiel zweispaltig agiert werden. Dies würde beide Ebenen (Prozess- und fachinhaltliche Ebene) voneinander trennen und gleichzeitig könnten die Ebenen aufeinander bezogen werden. Ähnliches gilt, wenn eine Lösungskarte zur Verfügung gestellt werden soll. Diese sollte auch Elemente mit Fokus auf den Prozess aber auch mit Fokus auf den Fachinhalt enthalten.

3. Fazit

Der vorliegende Beitrag zeigt, dass die Gestaltung von Experimentiersituationen im Sinne experimenteller Lernarrangements vieler Überlegungen bedarf. In Abhängigkeit von dem Lernziel, das erreicht werden soll, entscheidet sich, welche Ebenen des Experiments – Prozess- und/oder fachinhaltliche Ebene – durch die zur Verfügung gestellten Materialien oder in einer anschließenden Besprechung thematisiert werden müssen. Ist es ausreichend allein auf fachinhaltlicher Ebene zu lernen oder sollen Aspekte des Kompetenzbereichs Erkenntnisgewinnung thematisiert werden? Des Weiteren muss die Offenheit der Experimentiersituation an das Vorwissen der Schülerinnen und Schüler angepasst werden. Von der Antwort auf die Frage ‚Wie viel Hilfe ist notwendig?‘ hängt dann ab, wie viele und welche Unterstützungsmaßnahmen benötigt werden. Die drei vorgestellten Beispiele als Möglichkeiten der Gestaltung sind dabei als gleichwertig nebeneinanderstehend zu betrachten. Ihre Eignung variiert lediglich in Bezug auf das zugrunde gelegte Lernziel. Die verschiedenen Gestaltungsmöglichkeiten eröffnen demnach ein weitreichendes Potenzial zur Differenzierung.

III. Hilfekarten als Lernimpulse

1. Lernimpulse

Schülerinnen und Schüler, die selbstständig naturwissenschaftliche Probleme lösen sollen, benötigen meist mehr als ein bloßes Materialangebot oder eine Strukturierungshilfe für ihren Experimentiergang. Sollen Schülerinnen und Schüler ohne Anleitung von außen zu einem Ziel kommen, müssen sie ihr Handeln selbst regulieren und auf mögliche Schwierigkeiten reagieren können. Einige Schwierigkeiten kann man bereits bei der Gestaltung des Experiments antizipieren und geeignete Lernhilfen dafür vorsehen.

Dieser Abschnitt soll kurz in die grundlegenden Überlegungen zu Lernhilfen beim selbstregulierten Lernen einleiten und an zwei Beispielen verdeutlichen, wie Hilfekarten gestaltet werden können, die Schülerinnen und Schüler in ihrem Lernen unterstützen.

1.1 Selbstreguliertes Lernen

In den Theorien des Selbstregulierten Lernens wird Lernen in drei Phasen differenziert, die Schülerinnen und Schüler selbstständig durchlaufen und überwachen müssen (Hasselhorn & Labuhn, 2008). Zum einen gibt es eine Phase vor der Aufgabenbearbeitung, in der Lernende sich Ziele setzen („Ich will XY verstehen.“, „Ich will drei Übungsaufgaben rechnen.“ etc.). In der Phase der Aufgabenbearbeitung überwachen Lernende ständig ihr Fortschreiten, identifizieren mögliche Schwierigkeiten und beheben diese, wenn es ihnen möglich ist. Im Anschluss reflektieren sie in einer dritten Phase nach der Aufgabenbearbeitung, ob sie das zuvor gesetzte Ziel erreicht haben und leiten gegebenenfalls Maßnahmen ein, wenn dieser Ist-Soll-Abgleich negativ ausfällt. Auch wenn weite Bereiche der Theorien sich primär auf metakognitive, motivationale und volitionale Aspekte konzentrieren, auf die man als Lehrkraft nur mittelbar Einfluss nehmen kann, berücksichtigen sie gleichzeitig eine kognitive Perspektive des Lernens. Dies wiederum ist die ureigenste Domäne der Lehrkraft, in der sie Unterstützungsangebote machen kann.

Die Überwachung des eigenen Lernprozesses im Rahmen dieses Dreischritts nimmt viele kognitive Ressourcen in Anspruch, unabhängig von dem zu erlernenden Fachinhalt. Daher kann selbstreguliertes Lernen für Lernende mit wenig Erfahrung in diesem Bereich kognitiv sehr anstrengend sein und auch zu einer Überforderung führen. Daher sollten Schülerinnen und Schüler gerade dann, wenn sie noch unerfahren im selbstständigen Arbeiten sind, kognitiv unterstützt werden. Sie müssen bei der Überwachung des eigenen Lernprozesses eigene Schwierigkeiten und Lücken identifizieren und diese kompensieren. Ist ihnen dies im Moment der Aufgabenbearbeitung spontan nicht möglich oder fehlt ihnen notwendiges Vorwissen, kann die Gestaltung des Lernmaterials entscheidend sein. Zwei Methoden sollen im Folgenden kurz vorgestellt werden, die beide voraussetzen, dass kognitive Elemente lediglich im Moment des Lernens nicht aktiviert werden, grundsätzlich aber abgerufen werden können. Daneben kann mit zusätzlichen Hilfekarten aber auch neues Wissen eingeführt werden, um Vorwissensdefizite auszugleichen.

1.2 Prompting

Verfügen Schülerinnen und Schüler im Prinzip über das notwendige Wissen, können jedoch situativ nicht darauf zugreifen, spricht man von einem Produktionsdefizit (gegenüber einem Verfügbarkeitsdefizit, wenn sie das notwendige Wissen gar nicht erst besitzen; vgl. Marschner, Thillmann, Wirth & Leutner, 2012). Ähnlich wie im Alltag, wenn man beispielsweise nach einem Namen oder Titel eines Films sucht oder sich unsicher ist, wie man in einer Tätigkeit weiter vorgehen soll, kann ein kurzer Impuls ausreichen, um das notwendige Wissen zu aktivieren und die weiteren Handlungen zu lenken. Lernhinweise dieser Art werden Prompts genannt und geben, genau wie im Alltag, kein deklaratives Wissen vor, sondern dienen als Reiz, um vorhandenes Wissen zu wecken. Dabei können Prompts wahlweise kognitiv zur fachlichen Begründung von Lösungsschritten auffordern oder metakognitiv die methodische Logik eines Lösungsschritts hinterfragen (Nokes, Hausmann, VanLehn & Gershman, 2011). Ziel ist es jeweils, die Lernenden durch Anregung wieder auf den richtigen Weg zu bringen – der Prompt ersetzt im Selbstlernmaterial das aufmunternde „Denk nochmal nach“ der Lehrkraft. Im Vorfeld ist zu überlegen, an welchen Stellen Schülerinnen und Schüler voraussichtlich ‚stecken bleiben‘ können bzw. an welchen Stellen die Bewusstmachung von Lösungsschritten besonders gewünscht ist. Die Verwendung von Prompts führt nicht nur dazu, dass Schülerinnen und Schüler auf notwendiges Wissen hingewiesen werden, sondern sie können auch dazu dienen, die Schülerinnen und Schüler zur Generierung von Selbsterklärungen anzuregen, die das Lernen und Verstehen von Inhalten unterstützen (Chi, Leeuw, Chiu & Lavancher, 1994). Dies gilt sowohl für die Festigung von bereits vorhandenem Wissen als auch für das Erlernen neuer Inhalte.

Koenen (2014) hat für ihre Lösungsbeispiele metakognitive Prompts gewählt (vgl. a. Koenen, in diesem Band, Kapitel VII), die Schülerinnen und Schüler zu Selbsterklärungen bezüglich des naturwissenschaftlich-experimentellen Arbeitens anregen sollen. Dazu werden sie aufgefordert, einzelne Schritte im Prozess der Erkenntnisgewinnung zu reflektieren (z. B. Abbildung III.1).

Abbildung III.1:
Exemplarischer Prompt
zur metakognitiven
Anregung



Erkläre, was Lisa und Peter nach der Durchführung des Experiments miteinander vergleichen müssen, um weiterarbeiten zu können.

1.3 Gestufte Lernhilfen

Der Begriff ‚Gestufte Lernhilfen‘ bezeichnet eine Sequenz von inhaltlichen und lernstrategischen Hinweisen, die Schülerinnen und Schüler bei der Lösung einer Aufgabe unterstützen sollen (Franke-Braun, Schmidt-Weigand, Stäudel & Wodzinski, 2008). Idee der gestuften Lernhilfen ist es, Schülerinnen und Schülern ein orientierendes Angebot zu machen, auf das sie bei Bedarf zurückgreifen können. Die Hilfen sind so aufgebaut, dass auf der Vorderseite ein Prompt steht, für den es auf der Rückseite der Lernhilfe eine beispielhafte Lösung gibt (vgl. Abbildung III.2). So wissen die Schülerinnen und Schüler, auf welche Fragen ihnen eine bestimmte Lernhilfe eine Antwort gibt. Sie können also gezielt auf eine Lernhilfe zugreifen und eine andere auslassen, die sie nicht benötigen. Schwächere Schülerinnen und Schüler können so mehr Lernhilfen nutzen, leistungsstärkere Schülerinnen und Schülern können auf einige verzichten. Jeder kann angepasst an seinen Wissensstand unterstützt werden.

Die erste der Lernhilfen ist immer die Aufforderung zur Paraphrasierung der Problemstellung („Gib das Problem in deinen eigenen Worten wieder.“) und die letzte Hilfe hält als ‚Verifizierung‘ des eigenen Vorgehens stets eine Musterlösung parat. Dazwischenliegende Hilfen können, je nach antizipiertem Gang der Problemlösung, Teilziele elaborieren, Vorwissen aktivieren, bestimmte Informationen einer Aufgabe fokussieren oder zur Modellierung anregen (vgl. ebd.). Dieses Angebot soll Frustrationspotenziale bei Schülerinnen und Schülern mindern und sie zu einer längeren Beschäftigung mit einer Aufgabe anregen als dies der Fall wäre, wenn sie nicht zu einer Lösung zu kommen glauben (vgl. Aufschnaiter & Aufschnaiter, 2001). Wie schon bei den allgemeinen Promptingmaßnahmen müssen Lehrkräfte bei Nutzung dieser Methode im Vorfeld mögliche Stellen identifizieren, die Schülerinnen und Schüler überfordern können. Die gestuften Lernhilfen bauen aufeinander auf und folgen in der Regel einem exemplarischen Lösungsweg.

<p>Stellt Euch ein kleines Stück Eis von 1 cm^3 vor. Überlegt, wie viel Zusatzlast das Stück Eis tragen kann, bis seine Oberfläche gerade noch zu sehen ist.</p>	<p>Aus der Tabelle [im Beispiel angegeben] könnt Ihr entnehmen, dass ein Würfel Eis bei 0°C eine Dichte von ungefähr $0,92 \text{ g/cm}^3$ hat. Ein Würfel Wasser derselben Größe hat eine Dichte von 1 g/cm^3. Ein Stück Eis von 1 cm^3 kann man daher zusätzlich mit etwa $0,08 \text{ g}$ belasten, bis seine Oberfläche gerade noch zu sehen ist.</p>
---	--

Abbildung III.2:
Exemplarische Lernhilfe
(adaptiert aus: Franke-Braun
et al., 2008, S. 33)

2. Hilfekarten

2.1 Inhaltliche und methodische Hilfen

Wenn Schülerinnen und Schüler selbstständig experimentieren – sei es in Kleingruppen oder in Einzelarbeit –, kommt es unweigerlich zu Situationen, in denen sie nicht weiter wissen. Hilft dann der gegenseitige Ideenaustausch nicht weiter und steht auch kein fachliches Feedback durch die Lehrkraft zur Verfügung (vgl. Walpuski, 2006), droht der Bearbeitungsprozess abzuberechnen.

Solche Stellen gilt es bei der Planung eines Experiments zu identifizieren und Lernhilfen vorzubereiten, die Schülerinnen und Schülern einen Gedankenanstoß in die ‚richtige‘ Richtung geben. Koenen (2014) hat für ihre Experimentierboxen, die als experimentelle Problemlöseaufgaben ohne zusätzliche Lösungsbeispiele eingesetzt wurden, Hilfekarten ausgearbeitet. Diese sind so gestaltet, dass auf der Vorderseite eine Überschrift einen Hinweis auf den Inhalt auf der Rückseite gibt. Analog zur Arbeit mit gestuften Lernhilfen soll die Hilfekarte Schülerinnen und Schülern erlauben, zielgerichtet und bedarfsorientiert auf sie zuzugreifen. Ebenfalls erhalten Schülerinnen und Schüler die Möglichkeit, am Ende eines Experiments ihr Vorgehen mit einer Lösungskarte abzugleichen, die darüber hinaus eine fachwissenschaftliche Erklärung des Experiments anbietet.

Im Gegensatz zu gestuften Lernhilfen beschränken sich die Hilfekarten nicht auf bestimmte Lernstrategien (Paraphrasierung, Fokussierung etc.), sondern sind bedarfsorientiert auf den Experimentiergang bezogen. So werden gleichermaßen inhaltliche Hilfestellungen angeboten wie auch Hilfestellung zur Handhabung von Experimentiergerät und Erläuterungen zum methodischen Vorgehen. An zwei Beispielen wird dies im Folgenden illustriert.

2.2 Beispiel: Schokomüsli und Milch

Das Modellexperiment zur Diffusion ist schon weiter oben vorgestellt worden. Ausgangspunkt ist die Milch im Schokomüsli, die sich ‚von selbst‘ braun färbt.

Bei einem Materialangebot, das mehr als das absolut Notwendige vorhält, können Schülerinnen und Schüler schon durch die zu treffende Auswahl überfordert sein. Eine erste Hilfekarte kann ihnen entsprechend Orientierung bieten, was benötigt wird („Du brauchst zur Lösung ...“).

Die solchermaßen eingeschränkte Materialauswahl limitiert gleichzeitig die noch möglichen Lösungswege. Schülerinnen und Schüler können nun versuchen, die zur Verfügung stehenden Materialien kreativ zur Problemlösung zu kombinieren. Im vorliegenden Fall müssen sie ein Modellexperiment planen. Ist ihnen dies als Konzept nicht bekannt, ergibt sich wiederum eine Stelle im Lerngang, an dem sie zu scheitern drohen. Dies wird kompensiert durch die zweite Hilfekarte (Abbildung III.3).

Nachdem sie nun wissen, dass sie für die Stoffe im Alltagsproblem geeignete Modellstoffe identifizieren müssen, mit denen sie ein Experiment durchführen können, können sie die zur Verfügung stehenden Materialien neu bewerten. Gelingt ihnen die Zuordnung nicht selbstständig, werden sie durch eine dritte Karte unterstützt (Abbildung III.4).

Modellversuch
Hinweis
Ein Modellversuch ist ein Versuch, bei dem man etwas untersucht, dass den Dingen, die eigentlich untersucht werden sollen, ähnlich ist und ähnliche Eigenschaften hat. Wenn man diese modellhaften Dinge untersucht, kann man Rückschlüsse auf die ursprünglichen Dinge ziehen.

Abbildung III.3: Hilfekarte 2 „Schokomüsli und Milch“

Ähnlichkeiten im Modell
Hinweis
Stoffe und Modellstoffe:
Milch und Wasser
Schokopop und Zuckerwürfel
Braune Farbe und Tinte

Abbildung III.4: Hilfekarte 3 „Schokomüsli und Milch“

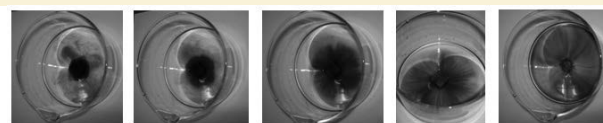
Das grundlegende Experimentiersetting ist ihnen damit vorgegeben und sie können nun die Umsetzung angehen. Dabei kann es geschehen, dass sie entweder nicht wissen, wie sie den Zuckerwürfel einfärben sollen oder dass sie irrtümlich Wasser im breiten Strahl auf den Zuckerwürfel gießen. Beides erschwert die notwendigen Beobachtungen, um das Problem zu lösen. Möglicherweise liegt diese ungeschickte Handhabung daran, dass ihnen nicht bekannt ist, wofür eine Pipette verwendet wird. Für diesen Fall wird eine weitere Hilfekarte angeboten, auf der dieses Gerät erläutert wird.

Nun können Schülerinnen und Schüler beobachten, dass sich die blaue Tinte auf dem Zuckerwürfel in dem Maße im Wasser verteilt, wie der Zucker gelöst wird. Sie müssen in ihrer Erklärung nun wiederum von den Modellstoffen auf die Stoffe des Alltagsproblems zurückschließen und die Analogie formulieren. Eine Interpretation im einfachen Teilchenmodell wird ihnen auf einer Erklärungskarte angeboten (Abbildung III.5), da diese Abstraktionsleistung allein aufgrund der Beobachtung nicht erwartet werden kann. Die Erklärungskarte schließt ebenfalls mit dem Rückbezug des Modellexperiments auf das Alltagsphänomen.

Erklärung

Aufgabe 3

Erklärung



Wenn man die Verteilung des gefärbten Zuckers genau betrachtet, dann lässt sich erkennen, dass sich der Zucker und die Farbe in feinen Schlieren ausgebreitet haben. Vom Ort der dunkelsten Farbe hin zu den Orten, die noch ungefärbt waren, hier also von innen nach außen. Der Zucker löst sich im Wasser. Das liegt daran, dass Wasser, Zucker und Tinte – wie alle Stoffe – aus kleinen Teilchen bestehen. In Flüssigkeiten wie Wasser bewegen sich die Teilchen frei, nicht so bei Feststoffen wie Zucker. Die Wasserteilchen bewegen sich und drängen sich zwischen die Zuckerteilchen und schieben diese auseinander. Dadurch verteilen sich die Zuckerteilchen; man sagt: Der Zuckerwürfel löst sich im Wasser. Die Tintenteilchen verteilen sich auf die gleiche Weise, wie die Zuckerteilchen. Die Wasserteilchen drängen sich ebenfalls zwischen die Tintenteilchen und schieben diese auseinander. Die Verteilung der Teilchen kann anhand der Färbung nachvollzogen werden. Wenn das gesamte Wasser blau ist, haben sich Zucker, Tinte und Wasser vollständig vermischt. Bei den Schokoladenpops ist es genauso. Die Schokoladenteilchen werden durch die Bewegung der Milchteilchen aus den Schokoladenpops herausgelöst und verteilen sich in der Milch. Daher ist auch sie nach kurzer Zeit komplett gefärbt.

Abbildung III.5: Erklärung „Schokomüsli und Milch“

Dank der Überschriften auf der Vorderseite der Hilfekarten, können Schülerinnen und Schüler einschätzen, welche Information sie auf der Rückseite erwarten können. Selbst wenn sie nicht alle Hilfekarten benutzen, fungiert die Überschrift schon als Prompt und löst Assoziationen aus, die den Lerngang befördern können.

2.3 Beispiel: Verdampfen von Salzwasser

Um einen Eindruck davon zu vermitteln, wie Schülerinnen und Schüler im handwerklichen Vorgehen unterstützt werden können, werden hier Hilfekarten eines weiteren Experiments vorgestellt. Ausgangspunkt der Problemlöseaufgabe ist, dass zwei Kinder ein Stoffgemisch aus Sand, Erbsen, Kochsalz und Wasser bereits soweit getrennt haben, dass sie nur noch eine wässrige Phase haben. Sie vermuten, dass das Kochsalz sich darin befindet und suchen nun nach einem Weg, ihre Vermutung zu überprüfen.

Die Hilfekarte zur Materialauswahl weist die Schülerinnen und Schüler darauf hin, dass ihnen zum Experimentieren eine Pipette, Streichhölzer, ein Uhrglas und ein Drahtkörbchen zur Verfügung stehen – bei letzterem handelt es sich um die Agraffe, die den Korken in Sektflaschen hält.

Trennverfahren

Hinweis

Durch den Prozess der Verdampfung kann man einen Feststoff, der in einer Flüssigkeit gelöst ist, zurückgewinnen. Verdampfen von Wasser bedeutet, dass Wasser gasförmig wird und in die Luft aufsteigt.

Abbildung III.6: Hilfekarte 2 „Verdampfen von Salzwasser“

Wenn Schülerinnen und Schüler selbst noch keinen Lösungsansatz finden, der ihnen weiterhilft, kann ihnen die Überschrift der zweiten Hilfskarte bereits einen Hinweis geben (Abbildung III.6). Hinter der Ankündigung „Trennverfahren“ finden sie Informationen zum Verfahren des Eindampfens, auf das sie somit hingeleitet werden.

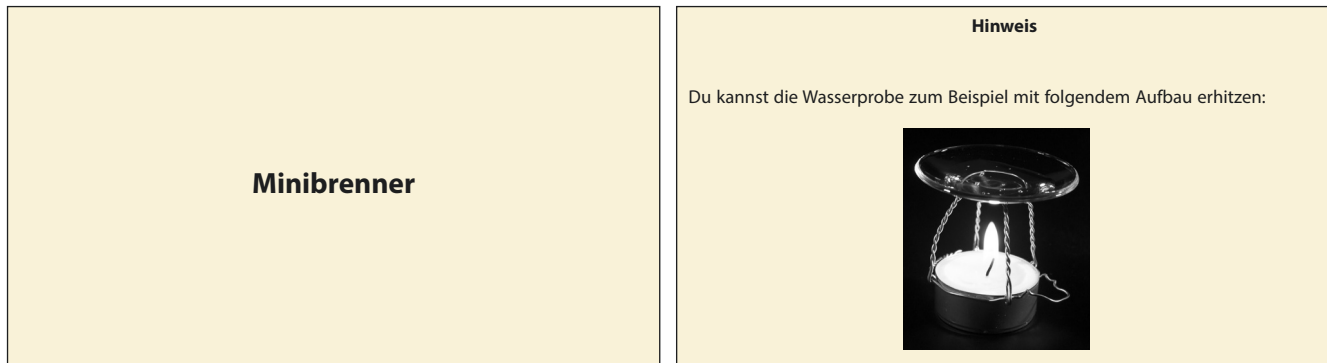
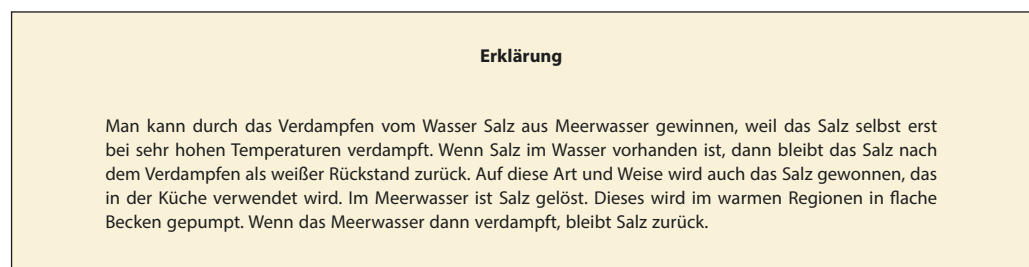


Abbildung III.7: Hilfskarte 3 „Verdampfen von Salzwasser“

Häufig kommen Schülerinnen und Schüler auf die Idee, das Uhrglas beim Eindampfen frei in der Hand zu halten. Sie bemerken dann aber schnell, dass dies nicht zweckdienlich ist. Normalerweise versuchen sie dann mit den verbliebenen Materialien eine Vorrichtung zu konstruieren, mit der sie das vermeintlich salzhaltige Wasser eindampfen können. Kommen sie selbst nicht zu einer funktionalen Lösung, finden sie unter dem Stichwort „Minibrenner“, das für sich genommen schon Assoziationen weckt, die Abbildung einer geeigneten Vorrichtung (Abbildung III.7), die sich aus dem Materialangebot leicht nachbauen lässt. Der Vorteil bei dieser Art des Brenners ist, dass er aus haushaltsüblichen Gegenständen konstruiert ist. Bei ihm trauen sich auch ansonsten eher schüchterne Schülerinnen und Schüler die Bedienung zu, während sie die Handhabung der womöglich rauschenden Brennerflamme deutlich zögerlicher angehen.

Abbildung III.8:
Erklärungskarte
„Verdampfen von
Salzwasser“



Nachdem ein Großteil des Wassers verdampft ist, können sie feststellen, dass sich Rückstände in Form weißer Krusten bilden. Dies werden sie in aller Regel als Salz identifizieren, da sie keinen anderen Stoff im Wasser gelöst vermuten. Die Aufgabe wäre erfolgreich gelöst.

Auf der Erklärungskarte (Abbildung III.8) werden die naturwissenschaftlichen Zusammenhänge rekapituliert, die dem Eindampfen zugrunde liegen. Darüber hinaus wird das Vorgehen zusätzlich in einen lebensweltlichen Kontext (Gewinnung von Meersalz) eingebettet. Dies ist zwar für die Gestaltung des Lerngangs nicht mehr zwingend nötig, führt aber dazu, dass Schülerinnen und Schüler die Relevanz des experimentellen Vorgehens erkennen können. Damit einher geht ein Potenzial zur Interessensweckung und -steigerung.

3. Fazit

Hilfekarten und andere Promptingmaßnahmen sollen Schülerinnen und Schüler dabei unterstützen Lösungswege zu finden und konsequent zu verfolgen. Dabei sind die Bedürfnisse der Schülerinnen und Schüler in der Experimentiersituation die Maßgabe dafür, ob eine Hilfe oder ein Denkanstoß formuliert werden soll.

Wichtig erscheint für die Akzeptanz der Hilfen, dass sie nicht zu textlastig sind. Darüber hinaus sollten sie so formuliert sein, dass ihre Aussage eindeutig interpretiert werden kann – dies umfasst auch, dass die gewählte Sprache der Schülerschaft angepasst sein muss. Hilfen werden nur dann angenommen, wenn sie auch als Hilfen wahrgenommen werden, ansonsten verpuffen alle Bemühungen.

Analog läuft die Entscheidung, welche Hilfen noch als angemessen erscheinen bzw. welches Wissen von Lehrkräften vorausgesetzt werden *kann*. Dabei halte man zu jeder Zeit im Blick, dass die Hilfekarten Schülerinnen und Schüler auf ihrem eigenen Lösungsweg begleiten sollen, ohne dass die fachkundige Lehrkraft interveniert. Ein solches Verständnis impliziert jedoch bereits, dass es keine *trivialen* Hilfen gibt. Über die Notwendigkeit einer Hilfe kann eben nur ihr Nutzer entscheiden.

IV. Lösungsbeispiele – eine Einführung

1. Lösungsbeispiele

Lösungsbeispiele, auch Beispielaufgaben genannt (engl. Worked-Examples oder Worked-out Examples), sind Lernaufgaben, die eine Aufgabenstellung und eine Musterlösung enthalten. Diese Lösung ist in der Regel in verschiedenen Lösungsschritten dargestellt, die je nach Bedarf unterschiedlich stark elaboriert sein können. Lösungsbeispiele sind in eher mathematischen und physikalischen Bereichen (Rourke & Sweller, 2009) bereits gut etabliert und erforscht. Seit einigen Jahren werden sie auch in anderen Bereichen, wie zum Beispiel in den Fächern Biologie (Mackensen-Friedrichs, 2004) und Chemie (Kölbach, 2011; Koenen, 2014), verwendet.

Viele Studien konnten zeigen, dass das Lernen mit Beispielaufgaben gegenüber dem Lernen mit offenen Problemlöseaufgaben erfolgreicher ist (vgl. Atkinson, Derry, Renkl & Wortham, 2000; Paas & van Merriënboer, 1994; Renkl, Hilbert & Schworm, 2009; Schwonke, Renkl, Krieg, Wittwer, Aleven & Salden, 2009). Unter offenen Problemlöseaufgaben wird dabei eine identische Aufgabenstellung verstanden, der jedoch die Musterlösung des Lösungsbeispiels fehlt. Dieser Effekt wird als *Worked-Example-Effekt* bezeichnet und zeigt sich vor allen Dingen bei Lernenden mit wenig Vorwissen (Novizen).

Im Folgenden werden die Unterschiede zwischen Lösungsbeispielen und herkömmlichen Beispielen in Schulbüchern diskutiert und einige theoretische Grundlagen sowie Beispiele erläutert. Dieser Beitrag legt die Grundlage, um später Lösungsbeispiele – bereits vorhandene oder selbst gestaltete – bewusst im Unterricht in verschiedenen Situationen einsetzen und ihre Wirkungsweise abschätzen zu können.

1.1. Illustrierende Beispiele vs. Lösungsbeispiele als Lernaufgaben

„Illustrierende Beispiele“ werden in Schulbüchern häufig verwendet und sind in der Regel sowohl bei Lehrkräften als auch bei Schülerinnen und Schülern beliebt. In Abbildung IV.1 ist ein solches Beispiel dargestellt. In diesem Fall geht es um die Bestimmung der Verhältnisformel des Magnesiumoxids. Ein solches Beispiel wird häufig zur Veranschaulichung genutzt, wenn der Fachinhalt bereits im Verlaufe des Unterrichtsgeschehens erläutert wurde. Zum Lernen eines neuen Sachverhaltes sind illustrierende Beispiele dagegen in der Regel nicht geeignet.

Abbildung IV.1:
Typischerweise im
Chemieunterricht
verwendetes Beispiels

Beispiel: Welche Verhältnisformel hat Magnesiumoxid?

Gegeben: $m(\text{Mg}) = 12 \text{ g}$; $m(\text{O}) = 8 \text{ g}$

Berechnung der Stoffmengen: $n(\text{Mg}) = \frac{12 \text{ g}}{24 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0,5 \text{ mol Magnesium – Atome}$

$n(\text{O}) = \frac{8 \text{ g}}{16 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0,5 \text{ mol Sauerstoff – Atome}$

Berechnung des Stoffmengenverhältnisses: $\frac{n(\text{Mg})}{n(\text{O})} = \frac{0,5 \text{ mol}}{0,5 \text{ mol}}$

Das Stoffmengenverhältnis ist 1:1. → Die Verhältnisformel ist MgO.

In vielen Fällen werden in Schulbüchern Anwendungsbeispiele weiteren Übungsaufgaben vorangestellt, in denen in diesem Fall Verhältnisformeln weiterer Verbindungen bestimmt werden müssten. Das prototypische Vorgehen wird demnach in diesem Beispiel einmal musterhaft verdeutlicht. Ein solches Beispiel dient also weniger dem Erwerb des Wissens, sondern eher als Orientierung und Unterstützung bei der Bearbeitung der anschließenden Aufgaben. Das Beispiel ist nicht primärer Lerngegenstand oder das primäre Lernmaterial, an dem das zugrunde liegende Konzept erlernt werden soll.

Lösungsbeispiele hingegen stellen in sich selbst das Lernmaterial dar, mit dem das zugrunde liegende Konzept erlernt werden soll. Bei diesem Konzept kann es sich sowohl um einen konkreten Fachinhalt handeln, wie hier die Bestimmung der Verhältnisformel, oder aber auch um eine Lösungsheuristik, also eine bestimmte Vorgehensweise, wie zum Beispiel den in Kapitel I beschriebenen naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess.

Lösungsbeispiele veranschaulichen durch die Gestaltung der Lösungsschritte und deren Sequenz die Struktur eines zugrunde liegenden Konzeptes (Paas & van Merriënboer, 1993). Die Struktur der Lösung folgt der Struktur des eingeführten Konzeptes und veranschaulicht sie in einem konkreten Anwendungszusammenhang.

1.2 Darstellung eines Lösungsbeispiels

Im Folgenden soll exemplarisch ein Lösungsbeispiel vorgestellt werden. Abbildung IV.2 zeigt ein einfaches mathematisches Lösungsbeispiel, wie es auch zum Thema Stöchiometrie im Chemieunterricht eingesetzt werden könnte.

Wie viel Gramm Natriumhydroxid benötigt man, um 0,450 L einer Lösung von Natronlauge mit $c(\text{NaOH}) = 0,300 \text{ mol/L}$ herzustellen?	Problemstellung
(1) $M(\text{NaOH}) = 40,0 \text{ g/mol}$ (2) $c(\text{NaOH}) = n(\text{NaOH}) / V(\text{NaOH})$ $= n(\text{NaOH}) / 0,450 \text{ L} = 0,300 \text{ mol/L}$ (3) $n(\text{NaOH}) = 0,300 \text{ mol/L} \cdot 0,450 \text{ L} = 0,135 \text{ mol}$ (4) $m(\text{NaOH}) = 0,135 \text{ mol} \cdot 40,0 \text{ g/mol} = 5,40 \text{ g}$	Lösungsschritte
Man benötigt 5,40 g NaOH um die Lösung herzustellen.	Lösung

Abbildung IV.2:
Lösungsbeispiel aus dem mathematischen Bereich des Chemieunterrichts

Die Einteilung des Lösungsbeispiels in Problemstellung, Lösungsschritte und Gesamtlösung ist klar erkennbar. Die Lösungsschritte stellen dar, wie vorgegangen werden muss, wenn die benötigte Menge an Natriumhydroxid bestimmt werden soll, um eine definierte Menge an Natronlauge einer bestimmten Konzentration herzustellen. Diese Darstellung ist bereits relativ ausführlich, könnte jedoch noch elaborierter sein, wenn ergänzt werden würde, wie z. B. die molare Masse von NaOH in Schritt (1) bestimmt wird oder wenn in Schritt (4) die Formel $n = m/M$ ergänzt würde, um so diese Zeile genauer zu erläutern. Außerdem könnten in ergänzendem Text die einzelnen Schritte begründet werden. Wie elaboriert die Darstellung der Lösungsschritte sein sollte, hängt von den Voraussetzungen der Schülerinnen und Schüler ab, die mit diesem Lösungsbeispiel lernen sollen. In jedem Fall jedoch dient das Lösungsbeispiel als konkreter Lerngegenstand, an dem die Bestimmung der notwendigen Masse an Natriumhydroxid erlernt werden soll. Weitere Lösungsbeispiele finden sich in den Kapiteln VII und VIII in diesem Heft sowie im Anhang.

1.3 Die Funktion der elaborierten Lösung

Wie bereits angesprochen, dient das Angebot einer elaborierten Lösung dazu, die Struktur eines abstrakten Konzeptes zu veranschaulichen (Paas & van Merriënboer, 1993). Dabei kann es sich um Formeln, fachliche Konzepte, Problemlöseheuristiken oder Ähnliches handeln. Abstrakte Prozesse und Konzepte werden in den Lösungsschritten anschaulich dargestellt, was den Lernenden ermöglicht, diese aus der Lösung zu extrahieren und zu verarbeiten. Schemata können so aus der Lösung konstruiert werden (Schemakonstruktion; Paas & van Merriënboer, 1993).

Zusätzlich zur Schemakonstruktion werden der ausdifferenzierten Darstellung der Lösungsschritte weitere Funktionen im Lernprozess der Schülerinnen und Schüler zugeschrieben.

Reimann (1997) beschreibt drei Funktionen: die Kontroll-, die Interpretations- und die Lernfunktion, bei der zwischen der direkten und der indirekten Lernfunktion unterschieden wird. Von direktem Lernen wird gesprochen, wenn der Lerninhalt vollständig in der Lösung enthalten ist. Die Füllung von Lücken oder die Ableitung weiterer Informationen aus anderen Materialien ist also nicht notwendig. Von indirektem Lernen wird hingegen dann gesprochen, wenn die Lösung für weitergehende Analogieschlüsse und für die Erzeugung abstrakter Wissensstrukturen genutzt wird.

Das Vorhandensein einer elaborierten Lösung unterstützt den Lernenden darin, die Problemstellung besser zu verstehen und abstrakte Begriffe in Bezug auf die Aufgabenstellung anzuwenden. Sie erleichtert also die Interpretation der Aufgabe (Interpretationsfunktion). Die Kontrollfunktion schließlich ermöglicht dem Lernenden eine bessere Kontrolle des Ablaufs der einzelnen Problemlöseschritte. Die kognitive Belastung wird so reduziert, da keine kognitiven Ressourcen für die eigenständige Planung der Reihenfolge der Lösungsschritte aufgewendet werden müssen (vgl. auch Mackensen-Friedrichs, 2004).

Ross (1987) beschreibt eine Klassifikations- (*example-analogy view*) und eine Hinweisfunktion (*principle-cueing view*). Er bezieht sich bei der Beschreibung beider Funktionen auf die Bearbeitung einer Aufgabenstellung zu einem bestimmten Fachinhalt, nachdem dieser Fachinhalt schon einmal im Rahmen eines Lösungsbeispiels thematisiert wurde. Das neu gelernte Wissen muss dann bei der Bearbeitung einer neuen analogen Aufgabenstellung angewendet werden. Bei der Hinweisfunktion dient die Lösung des früheren Lösungsbeispiels als Hinweis auf das relevante abstrakte Konzept. Bei der Klassifikationsfunktion hingegen dient die Lösung des früheren Lösungsbeispiels als Analogie zur Lösung des neuen Problems.

2. Lösungsbeispiele und die Grundlagen der Cognitive Load-Theorie

Lernen mit Lösungsbeispielen erweist sich insbesondere für Lernende mit wenig Vorwissen immer wieder als erfolgreich. Dabei bezeichnet ‚Lernen‘ nach Paas, Renkl und Sweller (2003) den Prozess der Verarbeitung von Informationselementen und deren Einbau in bereits vorhandene Schemata oder aber die Konstruktion neuer Schemata. Lernen kann demnach als Schemakonstruktion bezeichnet werden. Schemata fassen dabei alle relevanten Informationen zu einem Thema zusammen, die dann als eine geschlossene Einheit aus dem Langzeitgedächtnis ins Arbeitsgedächtnis geholt werden können, wie zum Beispiel das Schema ‚Auto starten‘. Es umfasst viele Einzelinformationen, die aber als Einheit relativ einfach als Handlungsroutine abgerufen werden können (siehe Abbildung IV.3). Das Langzeitgedächtnis ist dabei der Ort, an dem alle Schemata abgespeichert werden. Es verfügt im Grunde über eine grenzenlose Speicherkapazität. Experten in einer Domäne unterscheiden sich von Novizen dadurch, dass sie bereits über viele und gut ausgeprägte

Schemata verfügen und daher in einer Domäne regelmäßig hohe Leistungen erbringen (Ericsson & Smith, 1991). Experten zeichnen sich in der Regel durch eine tiefere Verarbeitung von Problemen aus.

Neben der Schemakonstruktion ist die Schemaautomatisierung ein weiterer wichtiger Prozess des Lernens. Bei der Schemaautomatisierung geht es nicht darum Schemata neu anzulegen oder durch weitere Informationen zu ergänzen, sondern darum bereits erlernte Abläufe zu automatisieren. Dies kann zum Beispiel durch wiederholtes Üben geschehen. Das Autofahren ist ein sehr typisches Beispiel für einen Automatisierungsprozess. Während Fahranfänger bei den anfänglichen Fahrversuchen sehr bewusst über jeden wichtigen Einzelschritt nachdenken müssen – das Schema ist demnach bereits konstruiert – und dies als sehr anstrengend empfinden, finden diese Prozesse bei einem routinierten Fahrer vollkommen automatisiert statt. Er kann Autofahren, ohne bewusst darüber nachzudenken. Ihm steht das Arbeitsgedächtnis daher für andere Aktivitäten, wie zum Beispiel das Reden mit dem Beifahrer zur Verfügung. Schemaautomatisierung ist daher ein weiteres wichtiges Element des Lernprozesses, da sie dazu führt, dass bereits angelegte Schemata gefestigt und vertieft werden.

Unterstützungen im Lernprozess sollten also vor allem die Schemakonstruktion und die Schemaautomatisierung betreffen. Dazu ist es notwendig genauer zu wissen, wie solche Prozesse im Gedächtnis ablaufen.

„Auto starten“

Bremse treten,
Handbremse lösen,
Kupplung treten,
ersten Gang einlegen,
Zündschlüssel drehen,
Schulterblick,
Kupplung kommen lassen,
gleichzeitig Bremse lösen,
langsam Gas geben, ...

Abbildung IV.3:
Das Schema „Auto starten“

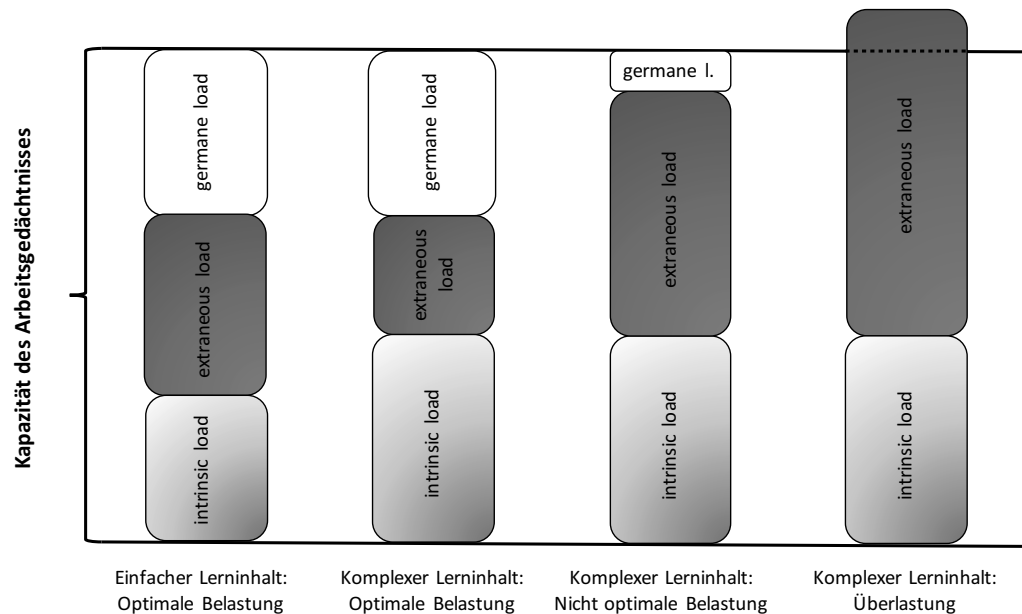
2.1 Die Cognitive Load-Theorie

Wie bereits beschrieben verfügt das Langzeitgedächtnis über eine unbegrenzte Speicherkapazität. Das Arbeitsgedächtnis, in dem die zu lernenden Informationen aktiv verarbeitet werden müssen, ist jedoch in seiner Kapazität beschränkt (Cognitive Load-Theorie; Sweller, Ayres & Kalyuga, 2011). Hier können in der Regel bis zu sieben plus/minus zwei Informationen vorgehalten werden (Miller, 1956). Es kann daher zu Überlastungen kommen, wenn diese Anzahl an Informationen überschritten wird. Dies kann sich negativ auf den Lernprozess auswirken, weil nicht alle Informationen verarbeitet werden können, und sollte deshalb vermieden werden. Dies kann zum Beispiel durch die Gestaltung der Lernmaterialien erreicht werden. In Kapitel V dieses Bandes finden sich weitere Informationen zu diesem Themenbereich.

Auch die Schemakonstruktion dient nicht nur dem Lernen an sich, sondern ist in gewisser Weise auch ein Mechanismus, um die Begrenzung der kognitiven Kapazität des Arbeitsgedächtnisses zu umgehen. Durch die Bildung eines Schemas werden viele Einzelinformationen zu einer Gesamtinformation zusammengefasst. Das in Abbildung IV.3 dargestellte Schema „Auto starten“ enthält neun Einzelinformationen, die durch Schemakonstruktion in einer einzigen Information „Auto starten“ zusammengefasst wurden. Diese kann nun als ein Element im Arbeitsgedächtnis bearbeitet werden und nicht wie zuvor als neun Elemente. Die Schemakonstruktion stellt demnach eine Möglichkeit dar, die Limitierung des Arbeitsgedächtnisses zu umgehen, da ein komplettes Schema als eine einzige Information codiert wird (vgl. Sweller & Chandler, 1994). Durch Schemabildung wird also die Zahl der gleichzeitig zu verarbeitenden Gesamtinformationen reduziert. Die Gefahr einer Überlastung des Arbeitsgedächtnisses, die den Lernprozess behindern würde, wird dadurch verringert.

Die Automatisierung von Informationen erlaubt es sogar, das Arbeitsgedächtnis zu umgehen, da automatisierte Prozesse, wie zum Beispiel das Autofahren bei erfahrenen Fahrern, ohne bewusste Kontrolle ablaufen können (Sweller, 1994). Um diese Vorgänge genauer beschreiben und analysieren zu können, schlagen Sweller, van Merriënboer und Paas (1998) drei Arten kognitiver Belastung vor: *intrinsic load*, *extraneous load* und *germane load*. Diese drei Arten der Belastung verhalten sich additiv, sodass sie gemeinsam die Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses nutzen und entsprechend durch dessen Grenzen beschränkt werden (vgl. Abbildung IV.4).

Abbildung IV.4:
Belastung des
Arbeitsgedächtnisses
in verschiedenen
Lernsituationen



Die drei Arten der kognitiven Belastung sollen im Folgenden kurz genauer dargestellt werden. Da Wissen über sie ein Verständnis vom Ablauf von Lernprozessen erlaubt, kann dieses Wissen auch bei der Gestaltung von Lernmaterialien genutzt werden, sodass Lernen bestmöglich unterstützt werden kann (siehe auch Kapitel V).

2.1.1 Intrinsic Load

Unter intrinsischer Belastung (*intrinsic load*) wird im Allgemeinen diejenige Belastung verstanden, die durch die Komplexität des zu lernenden Inhaltes erzeugt wird. Sie basiert auf den Informationen, die erlernt werden sollen, unabhängig von deren Gestaltung (Sweller et al., 2011). Die Komplexität der Informationen entsteht durch die sogenannte Elementinteraktivität, d. h. durch die Verknüpftheit der Informationen untereinander. Das Lernen von Vokabeln zum Beispiel zeichnet sich durch eine geringe Elementinteraktivität aus, da beim Vokabellernen immer nur ein einzelnes Element (Vokabel) nach dem anderen verarbeitet werden muss. Beim Erlernen von Grammatik hingegen liegt eine hohe Elementinteraktivität vor, da viele Elemente gleichzeitig im Arbeitsgedächtnis verarbeitet werden müssen (vgl. Sweller et al., 1998). Dies bedeutet insgesamt, dass die intrinsische Belastung, weil sie durch die Komplexität des Lerninhalts entsteht, durch die Gestaltung von Lernmaterial kaum beeinflusst werden kann (Renkl, Gruber, Weber, Lerche & Schweizer, 2003).

Die intrinsische Belastung wird jedoch auch durch das Vorwissen des Lernenden beeinflusst: Für Lernende mit höherem Vorwissen ist die Elementinteraktivität geringer, weil sie schon über mehr Schemata in diesem Bereich verfügen, die sie beim Lernen aktivieren können.

2.1.2 Extraneous Load

Unter der extrinsischen Belastung (*extraneous load*) wird diejenige Belastung verstanden, die durch die Gestaltung des Lernmaterials entsteht, und zusätzlich zum Lerninhalt vom Lerner verarbeitet werden muss (Sweller et al., 1998). Diese Belastung entsteht, ohne dass sie für den Lerninhalt selbst von Relevanz ist, dadurch, dass Schülerinnen und Schüler zunächst Informationen aus einer gewählten Darstellungsform (Fließtext, Fotografie, Diagramm etc.) extrahieren müssen, bevor sie diese ‚lernend‘ weiterverarbeiten können. Sie kann daher beeinflussen, wie leicht der Fachinhalt erlernt werden kann. Zum Beispiel führt das Zusammensuchen von relevanten Informationen aus verschiedenen Textabschnitten zu einem hohen *extraneous load*, der Ressourcen im Arbeitsgedächtnis bindet, die dann nicht mehr für das Lernen genutzt werden können.

Besonders deutlich wird dies, wenn innerhalb eines Textes auf eine andere Stelle im Buch verwiesen wird („siehe S. 211“). Lernende müssen im Buch blättern und eine Information suchen, die sie mit den Informationen von der verweisenden Seite in Verbindung bringen müssen. Sie müssen also selbstständig Informationen im Arbeitsgedächtnis bewahren und zusammenführen (kognitive Anforderung), wobei sie durch psychomotorische (Blättern) und strategische Anforderungen (sinnentnehmendes Lesen, Skimmen) ‚gestört‘ werden. Dies ist vergleichbar mit dem Versuch, zwei lose Enden eines Seils zu einem durchgehenden Seil zu verknüpfen: Es unterbricht den eigentlichen Prozess für eine zusätzliche (nicht lernförderliche) Tätigkeit, die Mühe bereitet und die man nicht aufwenden müsste, wenn man von vornherein ein durchgehendes Seil bereitgelegt hätte.

Die kognitive Kapazität, die für das Suchen verwendet werden muss, steht nicht für den eigentlichen Lernprozess zur Verfügung, daher kann eine zu hohe extrinsische Belastung den Lernprozess behindern (siehe auch Abbildung IV.4). Durch eine angemessene Gestaltung des Lernmaterials kann der *extraneous load* reduziert werden (Sweller & Chandler, 1994). Beispiele für eine solch angemessene Gestaltung werden in den nächsten Abschnitten (Kapitel V) vorgestellt und diskutiert.

2.1.3 Germane Load

Der *germane load* ist diejenige Belastung, die nach Abzug von *intrinsic* und *extraneous load* von der Gesamtkapazität des Arbeitsgedächtnisses noch für das eigentliche Lernen genutzt werden kann (vgl. Sweller et al., 2011). Je mehr kognitive Ressourcen für den *germane load* (lernbezogene kognitive Belastung) zur Verfügung stehen, desto erfolgreicher kann der Lernprozess verlaufen. Da die intrinsische Belastung kaum beeinflusst werden kann, kann der Lernprozess erfolgreich unterstützt werden, indem die extrinsische Belastung durch die Gestaltung des Lernmaterials so gering wie möglich gehalten wird. Dies ist vor allen Dingen für Materialien mit einer hohen intrinsischen Belastung, d. h. mit komplexem Lerninhalt, von Bedeutung. Bei Materialien mit einer geringen intrinsischen Belastung (einfacher Lerninhalt) wirkt sich unter Umständen selbst eine hohe extrinsische Belastung nicht negativ aus, da noch genug freie Kapazität für den *germane load* verfügbar ist. Abbildung IV.4 stellt exemplarisch einige Situationen dar, die sich unterschiedlich auf das Lernen auswirken können. Ziel bei der Gestaltung von Lernmaterialien sollte es immer sein, die Kapazität für den *germane load* so groß wie möglich zu halten.

2.2 Lösungsbeispiele unter dem Blickwinkel der Cognitive Load-Theorie

Beim Lernen soll den Lernenden möglichst viel kognitive Kapazität für den *germane load* zur Verfügung stehen. Daher ist es notwendig, zusätzliche extrinsische Belastung zu vermeiden. Dies wird sicherlich nicht immer möglich sein, doch sollte versucht werden, den Anteil an extrinsischer Belastung so gering wie möglich zu halten.

Das Vorhandensein der Lösungsschritte im Lösungsbeispiel reduziert den *extraneous load* bei der Bearbeitung des Lösungsbeispiels für Schülerinnen und Schüler mit wenig Vorwissen. Sie müssen nicht wie bei der Bearbeitung einer offenen Problemlöseaufgabe auf allgemeine Problemlösestrategien, wie zum Beispiel die *means-ends-analysis* zurückgreifen (vgl. Renkl, 2005). Hierbei müssen während der Aufgabenbearbeitung neben der Aufgabenstellung auch der Zielzustand und aktuelle Zwischenzustände im Arbeitsgedächtnis präsent gehalten und miteinander abgeglichen werden. Dies bedeutet, dass sehr viel kognitive Kapazität für die Organisation des Bearbeitungsprozesses aufgewendet werden muss. Fragen, die bei der Bearbeitung eine Rolle spielen, sind bei einem solchen Vorgehen zum Beispiel:

- Was ist das Ziel?
- Wie komme ich dahin? Wie erreiche ich das Ziel?
- Was muss ich alles bedenken?
- Was habe ich bereits erledigt?

Darüber hinaus können noch viele weitere Dinge wichtig sein, die aber nicht direkt dem eigentlichen Lernziel dienen. Diese Dinge beanspruchen sehr viel Kapazität, die nicht mehr zum Lernen zur Verfügung steht, da alles aktiv im Arbeitsgedächtnis gehalten werden muss. Bei Lösungsbeispielen mit vorhandenem Lösungsweg ist dies nicht der Fall, da diese Informationen kontinuierlich durch das Lösungsbeispiel zur Verfügung gestellt werden. Die Struktur des Lösungsbeispiels verdeutlicht das Ziel, indem sie die Abfolge der Lösungsschritte – also den Weg – vorgibt, sie verdeutlicht, welche Schritte bereits erfolgreich bearbeitet wurden. Die Lernenden können sich direkt den konkreten Inhalten der einzelnen Lösungsschritte widmen, die für den Lernprozess relevant sind (Sweller et al., 1998).

2.3 Lösungsbeispiele und das Niveau des Vorwissens

Der *intrinsic load*, der durch den Lerninhalt hervorgerufen wird, ist bei Novizen in der Regel höher als bei Experten. Das Vorwissen der Experten führt dazu, dass sie beim Lernen ganze Schemata aus dem Langzeitgedächtnis aktivieren und ins Arbeitsgedächtnis transferieren. Diese Schemata tragen dazu bei, dass Experten die Elemente des Materials anders strukturieren und zu größeren Einheiten zusammenfassen können, die dann als eine gebundene Information im Arbeitsgedächtnis verarbeitet werden kann (vgl. ‚Auto starten‘ weiter oben). Dies bedeutet, dass die empfundene intrinsische Belastung im engen Zusammenhang mit dem Vorwissen des Lernenden steht (vgl. Ayres & Paas, 2009). Novizen, die über kaum oder kein Vorwissen verfügen, ist das Zusammenfügen zu größeren Informationseinheiten nicht möglich, daher ist die intrinsische Belastung oft deutlich höher und sie sind darauf angewiesen, dass der *extraneous load* durch die Gestaltung des Lernmaterials reduziert wird. Dies bedeutet, dass Lösungsbeispiele durch ihre Struktur und Aufarbeitung des Inhalts besonders gut für Novizen geeignet sind, weil das Lernmaterial gut auf ihre Bedürfnisse angepasst werden kann, da die Struktur, die sie sich sonst selbst erarbeiten müssten, vorgegeben ist.

3. Fazit

Der vorliegende Beitrag stellt zunächst Lösungsbeispiele als eine Form von Lernaufgaben vor. Lösungsbeispiele sind durch ihr Design aus einer Aufgabenstellung und einer ausgearbeiteten Lösung aus verschiedenen Gründen besonders gut zum Lernen für Novizen geeignet. Das Vorhandensein der Lösung reduziert die extrinsische Belastung, sodass mehr kognitive Kapazität für das eigentliche Lernen zur Verfügung steht. Darüber hinaus gibt die Lösung dem Lernprozess der Lernenden Struktur, sodass das Lernen noch weiter unterstützt wird. Dies bedeutet jedoch nicht, dass Lösungsbeispiele eine Pauschalantwort sind und für alle Lernsituationen geeignet sind. Die positiven Wirkungen von Lösungsbeispielen können nur dann zum Tragen kommen, wenn diese auch in der Art gestaltet sind, dass sie tatsächlich den *extraneous load* reduzieren (siehe auch Kapitel V) und wenn Schülerinnen und Schüler sich intensiv mit dem Material auseinandersetzen und zum Beispiel Selbsterklärungen anstellen. Mit einem reinen Lesen der Lösung ist es in der Regel nicht getan. Es bedarf einer intensiven Auseinandersetzung mit dem zugrunde liegenden Konzept.

V. Gestaltung von Lösungsbeispielen

Lösungsbeispiele sind eine vergleichsweise neue Form von Lernaufgaben für den Chemieunterricht. Sie sind sehr gut zum eigenständigen Nacharbeiten durch die Schülerinnen und Schüler geeignet. Noch sind die Angebote an fertigen Lösungsbeispielen sehr gering, auf die Lehrkräfte zurückgreifen können. Dies muss sie jedoch nicht davon abhalten, die lernförderliche Wirkung von Lösungsbeispielen im eigenen Unterricht zu nutzen. Sie können sie nämlich selbst entwickeln. Dieser Beitrag soll einen Orientierungsrahmen bieten, wie man bei der Entwicklung von Lösungsbeispielen vorgeht und auf welche Aspekte der Gestaltung geachtet werden sollte. Da die Erstellung von Lernaufgaben dieser Form verhältnismäßig zeitaufwändig ist, können die folgenden Hinweise eine erfolgreiche Erstellung unterstützen.

1. Grundlegende Entscheidungen

Bei der Entwicklung von Lösungsbeispielen müssen zunächst, wie bei jeder anderen Art von Lernmaterial (z. B. Arbeitsblätter), grundlegende Entscheidungen zur inhaltlichen und formalen Gestaltung getroffen werden. Folgende Fragen können dabei die Erstellung leiten:

- Welches zugrunde liegende Konzept (Fachinhalt) soll mithilfe des Lösungsbeispiels erlernt werden?
- Für welche Jahrgangsstufe soll das Lösungsbeispiel geeignet sein?
- Wie ist der Wissensstand der Schülerinnen und Schüler?
- Wie elaboriert soll die Lösung sein?
- Wie eigenständig können Schülerinnen und Schüler mit dem Lösungsbeispiel umgehen? (Diese Frage ist wichtig, weil es sich bei Lösungsbeispielen klassischer Weise um Selbstlernmaterialien handelt. Dies setzt eine gewisse Eigenständigkeit und Eigenverantwortlichkeit der Schülerinnen und Schüler voraus.)
- Soll das Lösungsbeispiel mit anderen Lernmaterialien kombiniert werden (z. B. einem Experiment (siehe dazu Kapitel VII))?

Die Frage nach dem Konzept, das erlernt werden soll, ist nicht nur entscheidend, weil sie den Inhalt des Lösungsbeispiels definiert, sondern sie definiert auch die Musterlösung bzw. das Vorgehen bei der Bearbeitung der Aufgabenstellung.

- Wie geht man zur Lösung der Aufgabe am besten vor?
- Welche Struktur hat das zugrunde liegende Konzept?

Von diesen Fragen hängt die inhaltliche Reihenfolge der Lösungsschritte ab. Anhand des folgenden Beispiels soll ein Vorgehen bei der Lösung einer Aufgabe dargestellt werden:

Im Schülerexperimentierpraktikum (SEPP) an der Universität Duisburg-Essen experimentieren regelmäßig Schülerinnen und Schüler von verschiedenen Schulen. Eines der angebotenen Themen ist die quantitative Analyse von Ascorbinsäure. Die Aufgabe der Schülerinnen und Schüler besteht unter anderem darin experimentell den Ascorbinsäuregehalt in gelber Paprika zu bestimmen (Iodometrie). Dazu sollen die Schülerinnen und Schüler das Messergebnis einer Titration (Verbrauch an Kaliumiodatlösung) nutzen, um die folgende Aufgabe zu bearbeiten.

„Mit dieser Volumenmenge kann nun der Ascorbinsäuregehalt in gelber Paprika berechnet werden. Wie hoch ist der Ascorbinsäuregehalt in gelber Paprika?“

Zur Vorbereitung der Erstellung eines möglichen Lösungsbeispiels zu dieser Aufgabe wird zunächst das Vorgehen zur Lösung der Aufgabe skizziert. Darauf aufbauend kann dann das Lösungsbeispiel geschrieben werden. In Abbildung V.1 findet sich eine exemplarische Darstellung der Lösungsstruktur. Die Abbildung veranschaulicht die verschiedenen Schritte, die bei der Bearbeitung der Aufgabe durchlaufen werden müssen, und wie diese miteinander zusammenhängen. Diese Zusammenhänge stellen die Struktur der Lösung dar und sollten sich im Lösungsbeispiel auch wiederfinden lassen.

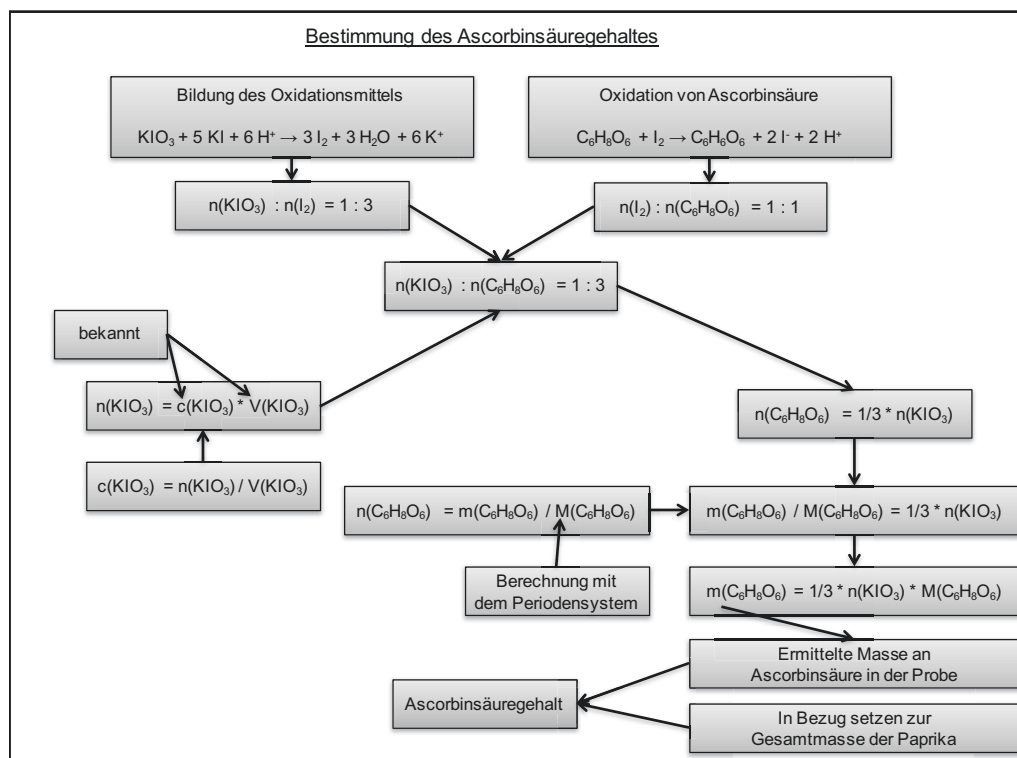


Abbildung V.1:
Struktur der Lösung
zur Bestimmung des
Ascorbinsäuregehaltes

Der Vorwissensstand der Schülerinnen und Schüler entscheidet, wie elaboriert die Lösungsschritte dargestellt werden müssen. Bei Schülerinnen und Schülern ohne Vorwissen ist es sinnvoll, die Lösung stärker zu elaborieren und ein kleinschrittigeres Vorgehen vorzusehen. Zum Beispiel kann es Schülerinnen und Schülern mit sehr wenig Vorwissen helfen zu erläutern, wie die molare Masse berechnet werden muss.

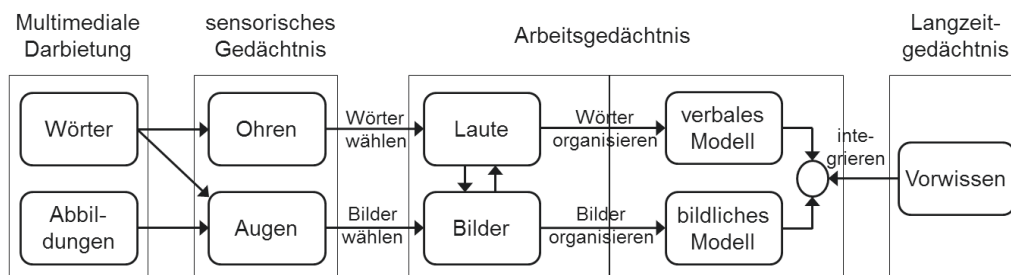
Wenn der Inhalt und die Folge der Lösungsschritte geklärt sind, wird bei der Erstellung eines Lösungsbeispiels der Blick auf Gestaltungsprinzipien gelenkt, die beispielsweise der Reduzierung der extrinsischen Belastung dienen. Dabei sind Gestaltungsprinzipien, die sich auf die Gestaltung einzelner Lösungsbeispiele beziehen (siehe Abschnitt 3) von Prinzipien zu unterscheiden, die die Gestaltung einer zusammenhängenden Reihe von Lösungsbeispielen betreffen (siehe Abschnitt 4).

2. Theorie des multimedialen Lernens als Gestaltungsgrundlage

Die *Theory of Multimedia Learning* (Mayer, 2009) beschreibt das Lernen mit Text und Bild, also mit Wahrnehmungen über zwei getrennte physiologische Kanäle: die Ohren und die Augen. Aus der Fülle an visuellen und auditiven Reizen, die im sensorischen Gedächtnis (Ultraschallgedächtnis) registriert werden, muss eine Auswahl getroffen werden, um jene Wörter und Bilder zu fokussieren, die weiter bei der Informationsbildung

genutzt werden sollen. Aus dieser zunächst ungeordneten Auswahl an Bildern und Wörtern bildet der Lernende im Arbeitsgedächtnis bildliche bzw. verbale Modelle, in der die Reize zu Einzelwahrnehmungen organisiert werden. Dabei nutzen beide Kanäle ihre eigenen Verarbeitungswege und die beiden Einzelwahrnehmungen müssen schließlich im Arbeitsgedächtnis mit bestehendem Vorwissen (so denn vorhanden) zu *einer* Information integriert werden, damit diese im Langzeitgedächtnis abgespeichert werden kann (s. Abbildung V.2).

Abbildung V.2:
Modell der Informations-
verarbeitung
laut *Multimedia
Theory of Learning*
(nach Mayer, 2009, S. 61)



Die Wahrnehmung von bildlichen Darstellungen läuft dabei allein über den visuellen Kanal. Die Wahrnehmung von geschriebenem Text wird zwar über den visuellen Kanal angestoßen (wir erkennen Wort'schatten'), die Wahrnehmungsleistung erfolgt aber im auditiven Kanal, indem Lautbildern Sinnzuweisungen gegeben werden (wir lesen uns sozusagen innerlich vor; vgl. Mayer, 2009, S. 77). Somit müssen auch bei ‚stillen‘ Lerntexten, deren Aussagen mit Bildern unterstützt werden, zwei getrennte Wahrnehmungen im Arbeitsgedächtnis in eine stimmige Information integriert werden. Nur wenn dies gelingt, kann Lernen erfolgen.

Da das Arbeitsgedächtnis nur eine begrenzte Kapazität hat, hängt der Erfolg dieses Integrationsprozesses maßgeblich davon ab, wie sehr die Gestaltung des Lerntextes diese Integration bereits unterstützt. Hierzu formulieren Mayer (2005a; 2005b; 2005c) sowie Fletcher und Tobias (2005) Gestaltungsprinzipien, deren Wirksamkeit in empirischen Studien bestätigt werden konnte. Grundsätzlich erlaubt die *Theory of Multimedia Learning* auch eine Aussage zu multimodalen Lernarrangements, d. h. solchen Lernangeboten, in denen Informationen über die Augen sowie als Schall über die Ohren aufgenommen werden. Da bis auf Weiteres jedoch der Schwerpunkt der Lernmaterialgestaltung auf Druckprodukten liegen wird, wird im Folgenden nur die Gestaltung von Arbeitsblättern diskutiert.

3. Gestaltungsprinzipien für einzelne Lösungsbeispiele

Schülerinnen und Schüler sollen nach Möglichkeit selbstständig mit Lösungsbeispielen lernen, ohne dass sie äußere Hilfe in Anspruch nehmen müssen. Dies stellt hohe Anforderungen an die Gestaltung solcher Lernmaterialien. Denn sie müssen für sich „sprechen“, Lernen muss mit ihnen allein möglich sein. Der Rückgriff auf weitere Quellen, erklärende Worte oder Lesehilfen sollte nicht notwendig sein. Hierzu werden jene Prinzipien der Theorie des multimedialen Lernens vorgestellt, denen jedes selbstgestaltete Lernmaterial (z. B. Arbeitsblatt, Lösungsbeispiel) folgen sollte – unabhängig davon, ob es zum Lernen in Stillarbeitszeiten oder als Quellenmaterial in Gruppenarbeiten eingesetzt wird.

3.1 Grundlegende Prinzipien des multimedialen Lernens

Bei der Erstellung multimedialer Lernmaterialien gilt es stets, zwei Randbedingungen kritisch zu reflektieren und entsprechend in der Gestaltung zu berücksichtigen. Zum einen besagt das zentrale Multimediaprinzip, dass Lernen mit Text und Bild erfolgreicher ist als rein textbasiertes Lernen (Fletcher & Tobias, 2005). Obwohl eine kognitiv anspruchsvolle Integrationsleistung zu erbringen ist, führt die doppelte Kodierung dazu, dass sich die beiden Wahrnehmungen (auditiv und visuell) gegenseitig ergänzen.

Zum anderen ergibt sich daraus eine Einschränkung des Einsatzes von Bild und Text: Viel hilft auch hier nicht viel. Zwischen den in Wort und Bild angebotenen Informationen muss eine gewisse Redundanz bestehen, sodass sich die beiden Wahrnehmungen auch aufeinander beziehen lassen und ergänzen können. Andererseits darf dieser Redundanzanteil nicht zu hoch sein, da jeder zusätzlich zu verarbeitende Reiz kognitive Ressourcen bindet. Es gilt also stets, ein mittleres Maß an Redundanz zwischen den beiden Kanälen zu gewährleisten (Redundanzprinzip). Unter diesen Umständen ist der maßvolle Einsatz von zusätzlichen Bildern zu begrüßen, wenn darüber hinaus bestimmte weitere Prinzipien berücksichtigt werden, die die zu erbringende Integrationsleistung unterstützen: Kohärenz-, Signalgeber-, Segmentierungs- und Personalisierungsprinzip sowie das Prinzip der räumlichen Nähe.

3.2 Kohärenzprinzip

Das Kohärenzprinzip (*coherence principle*: Mayer, 2005b; Mayer, 2009) fordert, dass interessante aber irrelevante Wörter oder Bilder aus multimedialen Lernmaterialien ausgeschlossen werden. Der vornehmlich dekorative Einsatz mag vielleicht motivierend wirken, führt aber dazu, dass das Arbeitsgedächtnis im Bild nach einer Information sucht, die vielleicht gar nicht vorgesehen ist – das Potenzial für kognitive Überforderung wird deutlich. Diese ablenkenden und für das Lernen unnötigen Details (*seductive details*) können Schülerinnen und Schüler zu anderen, dem Lernen nicht dienlichen Assoziationen verleiten. Man denke nur an ein Arbeitsblatt zu den Mendelschen Vererbungsregeln in der Biologie, auf dem Hundewelpen abgebildet sind („Oh, wie süß.“, „So einen möchte ich auch haben.“ etc.). Die Bildinformationen sollten entsprechend möglichst kohärent zum Text sein.

In besonderem Maße stellt sich dieses Problem in der Chemie, deren Lerngegenstände häufig nicht in Fotografien festzuhalten sind. Möchte man trotzdem sein Arbeitsblatt ‚auflockern‘, liegt der Gedanke nahe Abbildungen einzusetzen, die ‚irgendwie‘ zum Thema passen (Biodiesel und Rapsfelder). So könnte man z. B. beim Thema Destillation ein Bild von einem gefüllten Schnapsglas (z. B. Abbildung V.3) verwenden als Vertreter für ein populäres Destillationsprodukt. Das Bild dient dabei in keiner Weise der Informationsgenerierung hinsichtlich des Trennverfahrens, sondern verleitet schlimmstenfalls zum pubertären Prahlern über eigene Erfahrungen. Dem Argument, dass Schülerinnen und Schüler sich wahrscheinlich lieber mit Arbeitsmaterial auseinandersetzen, das im Zweifel auch unnötige Bilder umfasst und dadurch bunter und freundlicher erscheint, hält Mayer (2009) entgegen, dass dies nicht mit aktuellen konstruktivistischen Lerntheorien zu vereinbaren ist. Denn die Maßgabe für erfolgreiches Lernen muss die effiziente Integration von Informationen sein, die durch Ablenkung erschwert wird.

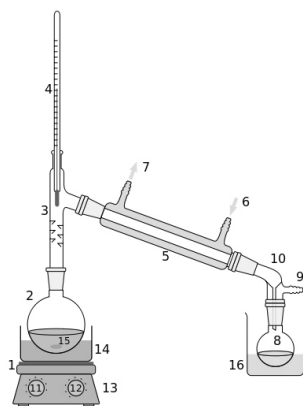


Abbildung V.3:
gefülltes Grappaglas
(Autor: Markus Emden,
CC BY-SA 3.0)

3.3 Prinzip der räumlichen Nähe

Bild und Text sollten sich also aufeinander beziehen und gleichermaßen zur Informationsgenerierung beitragen. Hierbei hilft räumliche Nähe zwischen den beiden Informationen (*spatial contiguity principle*; Mayer, 2005b; Mayer, 2009). Eine extreme Verletzung dieses Prinzips liegt z. B. vor, wenn in einem Fachbuch auf eine Abbildung oder weiteres Material weit hinten im Anhang verwiesen wird. Doch selbst wenn die beiden Wahrnehmungsreize auf derselben Seite stehen, profitieren Lernende mehr, wenn diese *dicht* nebeneinander stehen und nach Möglichkeit direkt aufeinander bezogen sind. Dies reduziert die kognitive Belastung.

Abbildung V.4:
Schemazeichnung einer
Destillationsapparatur



Ein einfaches Beispiel ist die Schemazeichnung einer Destillationsapparatur (z. B. Abbildung V.4). Unabhängig davon, wie viele Bauteile Schülerinnen und Schüler wirklich benennen können sollen, gibt es wenigstens drei Möglichkeiten, die Zeichnung zu erläutern: (a) mittels eines Fließtexts („Auf einer Heizplatte (1) wird ein Reaktionsgemisch (15) in einem Rundkolben (2) erhitzt ...“); (b) mittels einer separaten Legende am Bildrand („(1): Heizplatte, (2): Rundkolben, ...“) oder (c) dadurch, dass die Bezeichnungen für die Bauteile direkt in die Schemazeichnung eingetragen werden.

Der geringste kognitive Aufwand bei der Integration der Information besteht dann, wenn die Bezeichnungen direkt an der Zeichnung stehen, da der Blick nicht zwischen zwei Orten wandern muss (Gefahr eines *split attention-Effekts* durch geteilte Aufmerksamkeit). Das heißt nicht, dass der Fließtext nicht auch die Apparatur beschreiben darf; schließlich soll er die Informationen aus der Abbildung ergänzen und muss sich deswegen auch auf sie beziehen.

3.4 Signalgeberprinzip

Das *signaling principle* bezieht sich auf die Gestaltung von Textinformation (Mayer, 2005b; Mayer, 2009). Ihm liegt die Annahme zugrunde, dass lernorientiertes Lesen dann leichter fällt, wenn auf die wesentlichen Informationen eines Textes hingewiesen wird. Dies kann durch Eingangssätze erfolgen, in denen bereits alle wichtigen Aspekte/Begriffe genannt werden oder durch Zwischenüberschriften. Wichtige Worte können fett gesetzt oder farblich hervorgehoben werden oder typische Formulierungen können die Informationen organisieren („zuerst ...“, „danach ...“ und „schließlich“). Schülerinnen und Schüler können dann unmittelbar erkennen, was an dem vorliegenden Text wichtig ist. Zur Illustration sei derselbe Text zur Destillation einmal traditionell dargestellt und einmal unter Nutzung von Signalgebern aufbereitet (Abbildung V.5).

Dabei sollten Signalgeber sparsam eingesetzt werden. Treten sie gehäuft auf, können Schülerinnen und Schüler nicht mehr zwischen wichtigen und weniger wichtigen Informationen unterscheiden. Gleichermäßen sollten die unterschiedlichen Formen von Signalgebern nicht überhand nehmen, sodass schon allein die Zuordnung von Farbkodierungen, Schriftschnitten oder Unterstreichungen zur Herausforderung wird. Das Signalgeberprinzip kann darüber hinaus auch zur Integration einer Abbildung in einen Text verwendet werden. So können zum Beispiel identische Begriffe in beiden Informationsquellen identisch hervorgehoben werden. Dies erleichtert die Orientierung und die Integration der Informationen beider Quellen.

Bei der Destillation handelt es sich um ein physikalisches Trennverfahren, das die unterschiedlichen Siedepunkte von zwei oder mehr Komponenten in einem Stoffgemisch ausnutzt. Dabei wird ein Stoffgemisch erhitzt, bis eine der Komponenten verdampft und im Reaktionsraum aufsteigt. Die Gase der leichter flüchtigen Komponente werden in einem Kühler unter ihren Siedepunkt abgekühlt und kondensieren wieder. Die kondensierte Komponente wird in eine Vorlage abgeleitet und dort gesammelt. Durch Kontrolle der Temperatur am Kopf der Apparatur, wo sich die Dämpfe der leichter flüchtigen Komponente sammeln, kann ein Stoffgemisch in seine einzelnen Komponenten aufgetrennt werden.	<p>Die Destillation ist ein Verfahren zur Trennung von Stoffgemischen, das unterschiedliche Siedepunkte ausnutzt.</p> <p>Grundlagen</p> <p>Bei der Destillation handelt es sich um ein physikalisches Trennverfahren, das die unterschiedlichen Siedepunkte von zwei oder mehr Komponenten in einem Stoffgemisch ausnutzt.</p> <p>Vorgehen</p> <p>Zuerst wird ein Stoffgemisch erhitzt, bis eine der Komponenten verdampft und im Reaktionsraum aufsteigt. Diese Gase werden danach in einem Kühler unter ihren Siedepunkt abgekühlt und kondensieren wieder. Schließlich wird die kondensierte Komponente in eine Vorlage abgeleitet und dort gesammelt.</p> <p>Trennung</p> <p>Durch Kontrolle der Temperatur am Kopf der Apparatur, wo sich die Dämpfe der leichter flüchtigen Komponente sammeln, kann ein Stoffgemisch in seine einzelnen Komponenten aufgetrennt werden.</p>
--	--

Abbildung V.5:
Beispieltext zur Destillation
(links: traditionell,
rechts: Anwendung von
Signalgebern)

3.5 Segmentierungsprinzip

Das Segmentierungsprinzip bezieht sich im engeren Sinne auf solche Lernmedien, die schrittweise dargeboten werden können, d. h. Foliensätze, interaktive Lernprogramme oder mehrseitige Lerntexte. Sinn des *segmenting principle* (Mayer, 2005a; Mayer, 2009) ist es, einen komplexeren Inhalt in ‚mundgerechten‘ Portionen aufzubereiten, sodass auch der Umfang eines komplexeren Inhalts Schülerinnen und Schüler nicht ‚erschlägt‘. Der Inhalt wird dazu in sinnvolle Teilschritte gegliedert, die getrennt voneinander präsentiert werden (durch Seiten-, Bildschirm- oder Folienwechsel). Schülerinnen und Schüler können sich dadurch auf einzelne Teilschritte konzentrieren, sie in ihrem eigenen Tempo bearbeiten und sie als Einheit wahrnehmen. Beispielsweise könnte eine Einführung in das naturwissenschaftlich-experimentelle Arbeiten drei Seiten (bzw. Bildschirme) umfassen (Abbildung V.6):

Wenn Naturwissenschaftler etwas über die Welt um uns herum herausfinden möchten, müssen sie dafür zunächst Vermutungen formulieren.	Haben die Naturwissenschaftler eine Vermutung formuliert, müssen sie einen Versuch dazu entwickeln. Dieser muss genau das überprüfen können, was sie vermutet haben.	Ihren Versuch haben die Naturwissenschaftler dreimal durchgeführt, damit sie auch wirklich sicher sein können, dass ihre Ergebnisse immer ähnlich sind.
Eine solche Vermutung könnte beispielsweise lauten, dass Eis langsamer schmilzt, wenn es unter einer Haube aus glänzendem Metall aufbewahrt wird.	In unserem Beispiel interessiert es uns, ob Eis unter einer Haube aus glänzendem Metall langsamer schmilzt als ohne eine solche Haube.	Dabei haben sie festgestellt, dass das Eis unter der Haube aus Alufolie jeweils 2 Minuten länger gebraucht hat, bis es ganz geschmolzen war.
Wichtig ist für Naturwissenschaftler, dass sie ihre Vermutungen mit einer Untersuchung überprüfen können.	Wir brauchen also zwei Versuchsaufbauten: einen, in dem Eis unter einer Haube aus Metall liegt (z. B. aus Alufolie), und einen, in dem Eis einfach so der Umwelt ausgesetzt wird.	Sie können ihre Vermutung also bestätigen.
Ist dies nicht möglich, müssen sie ihre Vermutung anders formulieren. Folgende Vermutung könnte man zum Beispiel nicht überprüfen: Eis schmilzt lieber, wenn es nicht unter einer Metallhaube liegt – denn wir können Eis ja nicht befragen, was es gerne mag.	Beide Versuche führen wir zur selben Zeit und mit denselben Mengen Eis durch und stoppen die Zeit, bis das ganze Eis geschmolzen ist.	Nun müssen sie sich nur noch erklären können, wieso dies so ist.
	Das ist wichtig, weil es uns ja gar nicht helfen würde, wenn wir eine Probe bei praller Hitze und die andere bei starkem Regen schmelzen lassen würden. Und: viel Eis würde viel länger brauchen, bis es komplett geschmolzen ist als wenig Eis.	Sie nehmen an, dass die Sonnenstrahlen, die auf die glänzende Folie treffen, zum großen Teil reflektiert werden. Deswegen können sie das Eis darunter nicht so sehr erwärmen als würden sie direkt auf das Eis strahlen. Aufgrund der Haube gelangt weniger der Sonnenenergie zum Eis, um es zum Schmelzen bringen.
		Daraus können sie sogar eine neue Vermutung ableiten. Weißt Du auch welche?

Abbildung V.6: Segmentierung am Beispiel naturwissenschaftlich-experimentelles Arbeiten (links: Frage/Vermutung finden, Mitte: Versuch planen und durchführen, rechts: Schlussfolgern); keine weiteren Gestaltungsprinzipien berücksichtigt

3.6 Personalisierungsprinzip

Abschließend sei das Personalisierungsprinzip angeführt, dass die zu wählende Textart beeinflusst und eher motivationale Aspekte fokussiert als kognitive. Seine Anwendung führt nicht zu einer leichteren Verarbeitung der Information, sondern steigert die Wahrscheinlichkeit, dass Schülerinnen und Schüler die Informationsverarbeitung trotz kognitiven Aufwands unternehmen. Mayer (2009) fasst zusammen, dass Lernende sich dann eher auf einen Text einlassen und sich stärker bemühen ihn zu verstehen, wenn sie sich direkt angesprochen fühlen. Damit ist in der Tat eine dialogische Ansprache gemeint, sodass Lerntexte wo möglich in wörtlicher Rede formuliert sein sollen und eventuell Schülerinnen und Schüler sogar direkt ansprechen. Dies ist durch kleine Eingriffe leicht zu bewerkstelligen, ohne dass bewährte Texte komplett umgeschrieben werden müssen (z. B. am obigen Beispiel: „Du kannst Dir sicher vorstellen, dass es viel länger dauert, bis ein großer Haufen Eis geschmolzen ist gegenüber nur einem kleinen Bisschen.“ Oder: „Die Naturwissenschaftler sind erstaunt. ‚Seltsam, dass es unter einer Haube langsamer schmilzt. Im Auto wird es doch immer so heiß und das ist auch aus Metall.‘ – ‚Ja schon, aber das glänzt ja nicht. Vielleicht hat es damit zu tun.‘ – ‚Könnte schon sein. Meinst Du denn, dass die Reflexion der Sonnenstrahlen an der glänzenden Fläche da eine Rolle spielt? ...‘). Natürlich gilt es hierbei stets zu berücksichtigen, dass ein dialogischer Sprachstil nicht deckungsgleich mit dem sonst gängigen Sprachstil der Naturwissenschaften ist. Es ist also abzuwägen, inwiefern die Motivation der Schülerinnen und Schüler den Zielen einer fachsprachlichen Förderung vorgezogen werden soll.

Mayer (2005c, 2009) führt noch einige Prinzipien mehr an, doch die hier gewählten sechs Prinzipien sind vergleichsweise einfach zu berücksichtigen und können die Qualität selbsterstellter Lernmaterialien gewährleisten. In Kapitel VI dieses Bandes werden diese sechs Prinzipien in einer Checkliste zusammengefasst und zur Er- bzw. Überarbeitung von Lernmaterialien genutzt.

4. Gestaltungsprinzipien zur Einbettung von Lösungsbeispielen

Im vorangegangenen Abschnitt wurde dargestellt, wie ein Lösungsbeispiel so gestaltet werden kann, dass der *extraneous load* (siehe auch Kapitel IV) bei der Bearbeitung möglichst gering ist. Man sollte sich jedoch nicht nur über das einzelne Lernmaterial Gedanken machen, sondern auch darüber, wie das Lösungsbeispiel in die gesamte Lernumgebung eingebettet ist. Soll dem Lösungsbeispiel zum Beispiel ein weiteres Lösungsbeispiel folgen oder aber eine offene Problemlöseaufgabe?

4.1 Sequenz von Lösungsbeispielen

Trotz der erwiesenen Lernförderlichkeit von Lösungsbeispielen ist es nicht so, dass schon eine alleinige Anhäufung von Lösungsbeispielen lernförderlich ist (Gick & Holyoak, 1987). Die Lernförderlichkeit ist abhängig von den Gemeinsamkeiten und Unterschieden zwischen den Lösungsbeispielen. Jedes Lösungsbeispiel weist eine Tiefen- und eine Oberflächenstruktur auf.

Die Tiefenstruktur behandelt das zugrunde liegende Prinzip, welches gelernt werden soll. Die Oberflächenstruktur beschreibt den Teil des Lösungsbeispiels, in den das Prinzip eingebettet ist. Die Oberflächenstruktur lässt sich leicht wahrnehmen. Es ist jedoch schwierig sie eindeutig zu definieren. Hierzu gehört z. B. eine Art Cover-Story, in die der Fachinhalt eingebettet ist. Man könnte die Oberflächenstruktur aber auch mit einem Kontext assoziieren, in dem der Fachinhalt dargestellt ist. Eine einfache Differenzierung der

Begriffe Oberflächenstruktur, Cover-Story und Kontext lässt sich momentan im Rahmen der Lösungsbeispielforschung nicht feststellen. Alle Begriffe zusammen vermitteln aber einen relativ guten Eindruck davon, was mit dieser Struktur gemeint ist und welche Funktion sie besitzt. Umgangssprachlich könnte man auch sagen, dass die Oberflächenstruktur zur „Verpackung“ der Tiefenstruktur dient. Ein Beispiel soll im Folgenden verdeutlichen, wie sich Tiefen- und Oberflächenstruktur zueinander verhalten. Wir gehen in diesem Beispiel davon aus, dass im Rahmen der Tiefenstruktur der Reaktionsmechanismus der Herstellung von Seife erlernt werden soll. In Abbildung V.7 ist die Reaktionsgleichung als zentrales Element dargestellt.

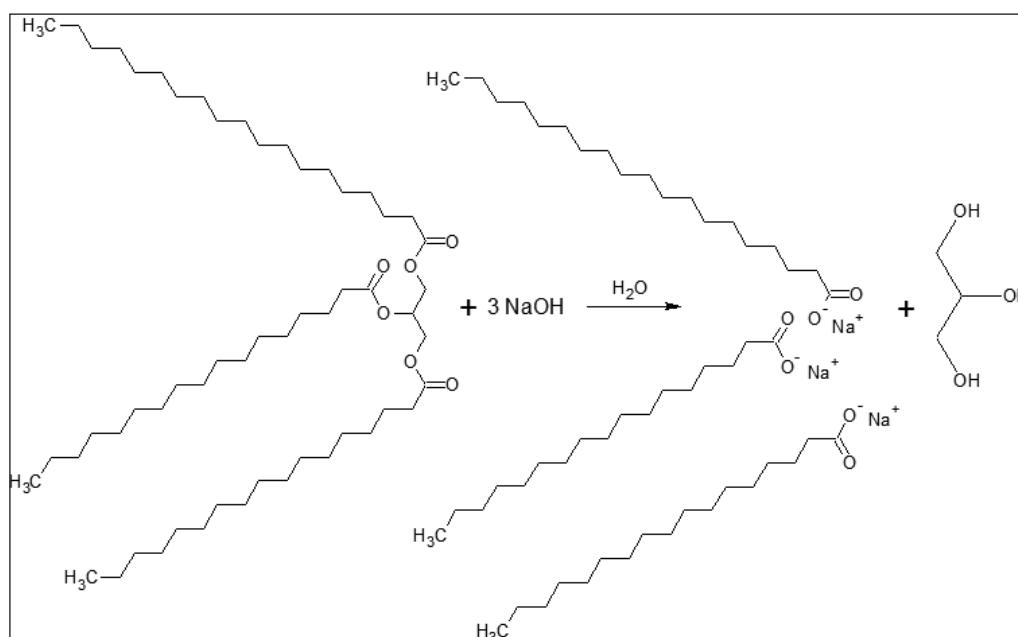


Abbildung V.7:
Reaktionsgleichung der
Seifenherstellung

Basierend auf dieser Tiefenstruktur wird nun eine Oberflächenstruktur zur Vermittlung gewählt. Dabei könnte es sich in diesem Fall um einen Lexikoneintrag zum Gebrauch seifenähnlicher Produkte aus dem Altertum als Ausgangspunkt handeln (siehe Abbildung V.8) – alternativ sind narrative Texte oder Fachreporte denkbar.

Der Gebrauch seifenähnlicher Produkte im Altertum

Auf einer in Keilschrift verfassten Tontafel der Sumerer (2500 vor Christus) wird die Herstellung eines seifenähnlichen Rezeptes aus Öl und Pottasche beschrieben. Die Pottasche wurde wahrscheinlich durch das Verbrennen von Dattelpalmen oder Nadelbaum-Zapfen und dem nachfolgenden Auslaugen der Asche gewonnen. Im alten Ägypten wurden alkalireiche Stoffe aus sodahaltigen Seen gewonnen. Die Ägypter wuschen ihre Wäsche, indem sie diese mit den sodahaltigen Substanzen tränkten und mit Keulen schlugen.

Die Römer wuschen sich zunächst nicht mit Seife, sondern verwendeten beim Waschen der Haut Bimsstein als Scheuermittel. Die Wäsche reinigten sie mit einem ammoniakhaltigen Fäulnisprodukt des Urins. Seife wurde in Rom erst ab dem 2. Jahrhundert eingesetzt. Der römische Arzt Galenos von Pergamon berichtete von der Herstellung von Seife aus Fett, Kalk und Aschenlauge. Es brauchte dann aber einige Zeit, bis sich die Seife als Reinigungsmittel durchsetzte. Die ersten Seifen der Seifensieder wurden im 4. Jahrhundert aus Ziegenfett und aus den aus Buchenasche gewonnenen Alkalien hergestellt.

Abbildung V.8:
Lexikoneintrag zum
Gebrauch seifenähnlicher
Produkte aus dem Altertum
(Text in Anlehnung an
Thomas Seilnacht (o.J.))

Dieser kurze Text kann als Einstieg in das Lösungsbeispiel dienen. Er stellt damit einen Teil der Oberflächenstruktur dar. Der Verlauf des Lösungsbeispiels kann dann so sein, dass auf Grundlage dieses Textes diese Fragestellungen aufgeworfen werden:

- Welche Stoffe benötigt man zur Seifenherstellung? (Triglyceride und Basen/Öl und Pottasche)
- Wie reagieren diese mit einander? Wie entsteht also das Produkt? (Reaktionsschema, Schaumbildung beim Waschen mit sodahaltigem Wasser)
- Mit welchem Experiment lässt sich diese Hypothese überprüfen? (Herstellung von Kernseife mit Natriumhydroxid, Natriumchlorid, Kokosfett und destilliertem Wasser)

Diese Fragestellungen werden im Rahmen des Lösungsbeispiels behandelt. Auf der Tiefenstruktur würde der Reaktionsmechanismus der Seifenherstellung dargestellt. Dessen Thematisierung das Ziel der aufgeworfenen Fragestellungen ist. Dieses Schema wäre dann in die Geschichte der Seifenherstellung als Oberflächenstruktur eingebettet.

An diesem Beispiel lässt sich bereits erkennen, dass die beiden Strukturen nicht voneinander zu trennen sind und es naturgemäß zu Überschneidungen kommen kann. Zur Verdeutlichung befinden sich in Tabelle V.1 weitere Beispiele zu Oberflächen- und Tiefenstrukturen.

Tabelle V.1:
Beispiele für
Oberflächen- und
Tiefenstrukturen

	Oberflächenstruktur	Tiefenstruktur (zu erlernendes Konzept)
1	Geschichte zum Ascorbinsäuregehalt in Lebensmitteln am Beispiel der Bekämpfung des Skorbut	Vorgehen bei der Berechnung des Ascorbinsäuregehaltes (Titrimetrie)
2	Zeitungsbericht „Der Badesee voller Algen“ – Umkippen eines Gewässers	Lösung von Ionen in Wasser und deren Einfluss auf das Algenwachstum (Eutrophierung)
3	Fotografie: Schwimmen im Toten Meer	Phänomen der Dichte und die Bedeutung des Salzgehaltes (Auftrieb)

Zur weiteren Orientierung finden sich im Anhang einige ausgearbeitete Lösungsbeispiele. Des Weiteren gibt es eine Sammlung von Lösungsbeispielen geben, die aus einer Zusammenarbeit der Müller-Reitz-Stiftung und der Chemiedidaktiken der Universität Duisburg-Essen und der PH Schwäbisch Gmünd entstanden sind (Schüßler, Emden, Sumfleth, 2016.).

Die Lernförderlichkeit einer Sequenz von Lösungsbeispielen kann dadurch erhöht werden, dass die Tiefenstruktur der Lösungsbeispiele immer gleich bleibt, während die Oberflächenstruktur variiert (Quilici & Mayer, 1996), z. B. indem das zugrunde liegende, zu erlernende Prinzip in verschiedenen „Verpackungen“ angewendet wird. Dies erhöht die flexible Anwendbarkeit des in der Tiefenstruktur beschriebenen Konstrukts. Diese Variation der Oberfläche bei gleichbleibender Tiefenstruktur zeigt Ähnlichkeiten zur Forderung nach notwendiger De- und Rekontextualisierung eines Fachkonzeptes, um eine variable Anwendung in verschiedenen Bereichen zu gewährleisten, nachdem es zunächst in einem spezifischen Kontext erlernt wurde (vgl. Chemie im Kontext, siehe u. a. Nentwig, Demuth, Parchmann, Gräsel & Ralle, 2007).

Abbildung V.9 zeigt ein exemplarisches Fachkonzept der Sekundarstufe I, welches mit Bezug zu verschiedenen Kontexten gelehrt werden kann. Zur Festigung dieses Konzeptes erscheint es sinnvoll, es aus seinem Ursprungskontext herauszuarbeiten und anschließend in mindestens einem weiteren Kontext anzuwenden.

Ähnlich verhält es sich mit der Gestaltung einer Sequenz von Lösungsbeispielen zu einem Fachkonzept. Auf der Tiefenstruktur steht die Säure als Protonendonator als zentrales Fachkonzept. Lösungsbeispiele dazu könnten verschiedene Oberflächenstrukturen nutzen: z. B. zunächst ‚Säuren in Reinigungsmitteln‘, dann ‚Gebäudeverfall durch sauren Regen‘ usw. Der zu erlernende Zusammenhang auf der Tiefenstruktur (Säu-

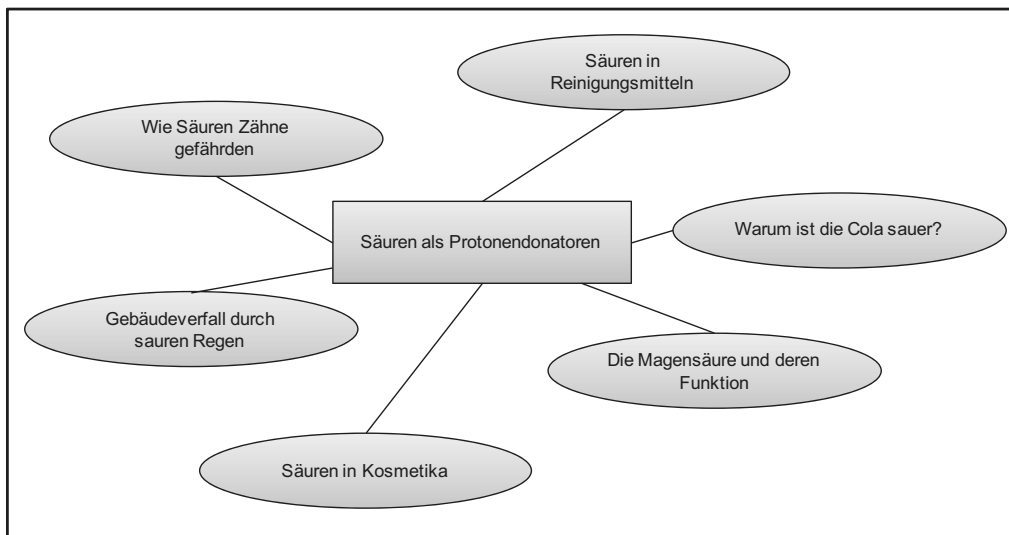


Abbildung V.9:
Beispiel für ein
Fachkonzept, dass in
verschiedenen Kontexten
erlernt werden kann

rewirkung durch Protonenabgabe) würde sich über diese Sequenz hinweg nicht verändern, sodass das Fachkonzept auf verschiedenen Oberflächen erlernt werden könnte. Dies könnte zu einem vertieften Verständnis beitragen.

4.2 Example-Problem-Pairs

Anstelle von Sequenzen von Lösungsbeispielen werden häufig Example-Problem-Pairs als Lernmaterialien genutzt. Ein Example-Problem-Pair ist eine Kombination aus einem Lösungsbeispiel und einer offenen Problemlöseaufgabe, die im Anschluss an das Lösungsbeispiel bearbeitet werden soll. Tabelle V.2 stellt wichtige Unterschiede zwischen den Elementen eines Lösungsbeispiels und einer Problemlöseaufgabe zusammenfassend dar.

Problemlösen wird nach Klieme, Funke, Leutner, Reimann und Wirth (2001, S. 185) definiert als „zielorientiertes Denken und Handeln in Situationen, für deren Bewältigung keine routinierten Vorgehensweisen verfügbar sind.“ Der Problemlöser muss demnach ein durch die Aufgabenstellung gegebenes Ziel erreichen, ohne dabei den unmittelbaren Weg zu diesem Ziel zu kennen. Eine offene Problemlöseaufgabe besteht daher aus einer Aufgabenstellung, die ohne weitere Hilfestellung bearbeitet werden soll.

	Lösungsbeispiel	Offene Problemlöseaufgabe
Aufgabenstellung	+	+
Schrittweise Musterlösung	+	-
Gesamtlösung	+	-

Tabelle V.2:
Unterschied zwischen
Lösungsbeispielen
und offenen
Problemlöseaufgaben

Die Kombination aus einem Lösungsbeispiel und einer offenen Problemlöseaufgabe erweist sich als eine gute Möglichkeit zur Vertiefung des Erlernten. Zunächst können Lernende das Konzept im Rahmen des Lösungsbeispiels selbstständig erarbeiten und erhalten alle notwendigen Informationen. Im Anschluss daran erhalten sie die Möglichkeit, dieses Wissen im Rahmen einer offenen Problemlöseaufgabe selbstständig anzuwenden. Sie bekommen im Example-Problem-Pair die Gelegenheit, die Hinweise aus dem Lösungsbeispiel auf die Problemlöseaufgabe zu übertragen und zur Routinebildung einzüben. Diese Kombination von Lernmaterialien erwies sich bereits in vielen Studien als sehr lernförderlich (Cooper & Sweller, 1987; Rourke & Sweller, 2009; Trafton & Reiser, 1993; Ward & Sweller, 1990). Dies liegt nicht zuletzt darin begründet, dass bei dem allein-

nigen Bearbeiten von Lösungsbeispielen der Übungsaspekt im Sinne einer selbstständigen Anwendung häufig zu kurz kommt.

Hilfreich ist es, wenn die Problemstellung der offenen Problemlöseaufgabe analog der des Lösungsbeispiels gestaltet ist, sodass sich die Tiefenstrukturen zwischen den Aufgaben entsprechen. In Abbildung V.10 findet sich ein Beispiel für ein Lösungsbeispiel und eine analoge offene Problemlöseaufgabe. Abbildung V.10 illustriert den Aufbau eines Example-Problem-Pairs. Sie zeigt auch die Analogie zwischen den beiden Aufgabenstellungen, die es den Schülerinnen und Schülern ermöglicht, das erlernte Konzept direkt zu üben und zu vertiefen.

<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> Wie viel Gramm Natriumhydroxid benötigt man, um 0,450 L einer Lösung von Natronlauge mit $c(\text{NaOH}) = 0,300 \text{ mol/L}$ herzustellen? Problemstellung </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> (1) $M(\text{NaOH}) = 40,0 \text{ g/mol}$ (2) $c(\text{NaOH}) = n(\text{NaOH}) / V(\text{NaOH})$ $= n(\text{NaOH}) / 0,450 \text{ L} = 0,300 \text{ mol/L}$ (3) $n(\text{NaOH}) = 0,300 \text{ mol/L} \cdot 0,450 \text{ L} = 0,135 \text{ mol}$ (4) $m(\text{NaOH}) = 0,135 \text{ mol} \cdot 40,0 \text{ g/mol} = 5,40 \text{ g}$ Lösungsschritte </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> Man benötigt 5,40 g NaOH um die Lösung herzustellen. Lösung </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> Wie viel Gramm Natriumhydroxid benötigt man, um 0,600 L einer Lösung von Natronlauge mit $c(\text{NaOH}) = 0,100 \text{ mol/L}$ herzustellen? Problemstellung </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; height: 100px;"> </div>
---	---

Abbildung V.10: Example-Problem-Pair: Lösungsbeispiel (links) und analoge offene Problemlöseaufgabe (rechts)

Es besteht auch die Möglichkeit, im Rahmen einer sich anschließenden offenen Problemlöseaufgabe im Example-Problem-Pair einen weiteren Transfer des im Lösungsbeispiel vorgestellten Konzeptes anzubahnen. Dies ist durch eine totale Parallelität zwischen den Tiefenstrukturen von Lösungsbeispiel und Problemlöseaufgabe nicht zu gewährleisten. Die Problemlöseaufgabe muss dann den neuen, erweiterten Aspekt des Konzepts einführen. Dazu würde man die Struktur der Aufgabe soweit verändern, dass das zugrunde liegende Konzept zwar noch den Hauptaspekt der Lösung darstellt, aber erweitert, ergänzt oder umgewandelt werden muss, sodass die erfolgreiche Bearbeitung der Aufgabe ein tieferes Verständnis über die Zusammenhänge erfordert. Solche weiter öffnenden Problemlöseaufgaben bieten sich deswegen häufig erst im zweiten oder dritten Schritt an oder stellen gute Differenzierungsmöglichkeiten dar. Ein Beispiel für eine offene Problemlöseaufgabe, die den weiteren Transfer anregt, findet sich in Abbildung V.11.

<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> Wie viel Gramm Natriumhydroxid benötigt man, um 0,450 L einer Lösung von Natronlauge mit $c(\text{NaOH}) = 0,300 \text{ mol/L}$ herzustellen? Problemstellung </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> (1) $M(\text{NaOH}) = 40,0 \text{ g/mol}$ (2) $c(\text{NaOH}) = n(\text{NaOH}) / V(\text{NaOH})$ $= n(\text{NaOH}) / 0,450 \text{ L} = 0,300 \text{ mol/L}$ (3) $n(\text{NaOH}) = 0,300 \text{ mol/L} \cdot 0,450 \text{ L} = 0,135 \text{ mol}$ (4) $m(\text{NaOH}) = 0,135 \text{ mol} \cdot 40,0 \text{ g/mol} = 5,40 \text{ g}$ Lösungsschritte </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> Man benötigt 5,40 g NaOH um die Lösung herzustellen. Lösung </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> Welche Konzentration hat eine Natronlauge, die mit 6 g Natriumhydroxid (NaOH) in 0,600 L Wasser angesetzt wurde? Problemstellung </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; height: 100px;"> </div>
---	---

Abbildung V.11: Example-Problem-Pair: Lösungsbeispiel (links) und offene Problemlöseaufgabe zum weiterem Transfer (rechts)

In der offenen Problemlöseaufgabe in Abbildung V.11 muss das im Lösungsbeispiel dargestellte Vorgehen adaptiert werden: Die benötigten Formeln sind zwar identisch und auch die molare Masse muss bestimmt werden, jedoch ist die Reihenfolge, in der die Formeln genutzt werden, vertauscht und ein anderer Parameter ist gesucht.

4.3 Fading von Lösungsschritten

Zwischen den beiden Formen a) Anhäufung von Lösungsbeispielen und b) Example-Problem-Pairs, spannt eine dritte Möglichkeit gewissermaßen einen Bogen. Dabei handelt es sich um das sogenannte Fading (vgl. Renkl, Atkinson & Maier, 2000). Fading bedeutet das schrittweise Wegfallenlassen von Lösungsschritten in Lösungsbeispielen bis hin zu dem Punkt, an dem kein Lösungsschritt mehr vorgegeben wird. Dies bedeutet im Grunde, dass zunächst ein vollständiges Lösungsbeispiel bearbeitet wird und dann sukzessive Lösungsschritte getilgt werden, bis eine Aufgabenstellung analog der offenen Problemlöseaufgabe ‚übrig‘ bleibt. Das Vorgehen erlaubt es, Lernende schrittweise zum selbstständigen Anwenden und Üben des zu erlernenden Konzeptes hinzuführen.

Das Fading vereint im Grunde viele Vorteile der beiden vorgenannten Methoden. Zum einen bieten die aneinander gereihten Lösungsbeispiele immer wieder die Möglichkeit das Konzept zu erarbeiten und zu vertiefen. Gleichzeitig rückt zum anderen das eigenständige Üben durch die Tilgung von Lösungsschritten immer stärker in den Fokus. Renkl, Atkinson, Maier und Staley (2002) konnten auch zeigen, dass es lernförderlicher ist, die Lösungsschritte von hinten nach vorne zu tilgen. Auf diese Art und Weise werden die Lernenden schrittweise, auf vertrauten Wegen an die eigenständige Anwendung des Konzepts herangeführt, weg vom Lernen mit Lösungsbeispielen. Die Alternative, vom Anfang zum Ende eines Lösungsbeispiels die Lösungsschritte zu tilgen, birgt das Risiko, dass Lernende zu früh die vertraute Orientierung verlieren und sie den Lösungsweg deswegen nicht selbstständig zu Ende führen können.

Das Fading erlaubt darüber hinaus die Reduzierung jenes Anteils der extrinsischen Belastung, der beim Problemlösen unmittelbar nach einem Lösungsbeispiel unweigerlich entsteht (siehe auch Kapitel IV). Durch maßvolles Fading im Lernprozess nimmt das eigenständige Problemlösen immer weiter zu, da die notwendigen Problemlöseschritte erst nach und nach (und nicht alle auf einmal) selbstständig generiert werden müssen, bis schließlich das gesamte Problem selbstständig gelöst werden kann.

5. Fazit

Wichtig bei der Gestaltung von Lösungsbeispielen ist, dass zunächst der Inhalt klar definiert wird. Dieser Inhalt gibt dem Lösungsbeispiel seine Struktur, weil er das Vorgehen der Musterlösung vorzeichnet. Erst wenn der Lerninhalt klar definiert ist, kann mit der Gestaltung des Lösungsbeispiels unter Berücksichtigung vielfältiger Gestaltungsprinzipien begonnen werden. Ziel des Einsatzes dieser Gestaltungshinweise ist die Reduzierung der extrinsischen Belastung, sodass den Lernenden möglichst viel kognitive Kapazität für den eigentlichen Lernprozess zur Verfügung steht. Berücksichtigt werden sollten dabei nach Möglichkeit das Multimedia-, das Kohärenz-, das Signalgeber-, das Segmentier- und das Personalisierungsprinzip, ebenso wie das Prinzip der räumlichen Nähe. Viele dieser Prinzipien sind relativ einfach umsetzbar. Neben der Gestaltung des Lösungsbeispiels selbst sollte auch berücksichtigt werden, wie und in welchem Zusammenhang mit anderen Lernmaterialien das Lösungsbeispiel eingesetzt wird. Möglich ist die Kombination mit anderen vollständigen Lösungsbeispielen oder aber mit Lösungsbeispielen, deren Lösungsschritte nach und nach wegfallen (Fading). Denkbar ist ebenso die Kombination mit offenen Problemlöseaufgaben (Example-Problem-Pairs), um das Üben des Fachinhalts anzuregen. Die Entscheidung für eine bestimmte Lernumgebung, in der das Lösungsbeispiel eingesetzt wird, hängt natürlich von den Gesamtzielen der Lernsituation und natürlich auch von der zur Verfügung stehenden Zeit ab.

VI. Exkurs: Adaption von Arbeitsblättern

1. Vorüberlegung

Es steht außer Frage, dass die Aufgaben und Anforderungen, die sich Lehrkräften Tag für Tag stellen, die Arbeitszeit voll auszuschöpfen vermögen. Daher ist der Einwand naheliegend, dass – so schön die hier präsentierten Theorien auch sein mögen – es kaum zu schaffen ist, nun auch noch alle Arbeitsblätter neu zu erarbeiten, sodass sie mit den Gestaltprinzipien der *Multimedia Theory of Learning* zusammenpassen. Dies zu fordern ist aber auch mitnichten die Intention der vorhergehenden Beiträge.

Doch können die Erkenntnisse aus der fachdidaktischen und lehr-lernpsychologischen Forschung in zweifacher Hinsicht helfen die eigene Arbeit effizienter zu gestalten:

1. Wenn Lehrkräfte Arbeitsblätter neu erstellen, können sie von vornherein die vorgestellten Gestaltprinzipien berücksichtigen. Dadurch steuern sie soweit möglich die Verwendung der kognitiven Ressourcen ihrer Schülerinnen und Schüler, begünstigen das effiziente Lernen und steigern damit die Wahrscheinlichkeit, dass das neue Arbeitsblatt ‚funktioniert‘. Langwierige Überarbeitungen oder frustriertes Verwerfen des zeitaufwändig entworfenen Arbeitsblatts sind unnötig bzw. werden weniger wahrscheinlich.
2. Greifen Lehrkräfte auf kommerzielle oder frei verfügbare Arbeitsblattvorlagen zurück, bemerken sie – häufig auch erst nach dem ersten Einsatz –, dass die Vorlage im Unterrichtseinsatz nicht wie erhofft funktioniert. Oftmals wird dies auf unzureichende Gestaltung der Arbeitsblattvorlage zurückzuführen sein. Diese Vorlagen nicht mehr zu verwenden, ist unbefriedigend und bedeutet, dass eine Alternative gefunden oder erstellt werden muss. Sie könnten aber mithilfe der vorgestellten Gestaltprinzipien so weit angepasst werden, dass der erfolgreiche Einsatz im Unterricht begünstigt wird. Der Arbeitsaufwand einer Adaption ist gegenüber einer Neuerstellung deutlich geringer, wobei gleichzeitig die Inhalte und die Darstellung auf das fachliche und sprachliche Leistungsniveau der Schülerinnen und Schüler angepasst werden können.

In der Folge wird an einem exemplarischen Arbeitsblatt dargestellt, wie eine solche Vorlage überarbeitet werden kann. Dabei werden zunächst mithilfe einer Checkliste Schwachstellen der Vorlage identifiziert und in der Überarbeitung gezielt behoben. Anhand von dreizehn Fragen, die bei der Analyse einer Vorlage helfen sollen, werden mögliche Konsequenzen für die Überarbeitung gezogen. Maßgabe bei der Beantwortung der Fragen muss jeweils der Kontext sein, in dem das Arbeitsblatt eingesetzt werden soll, sodass sehr individuelle Lösungen resultieren können.

Das Beispiel wurde zwar eigens zu diesem Zweck konstruiert, ist aber bis zu einem gewissen Grad repräsentativ auch für aktuelle Angebote.

2. Vorlage und Checkliste

Gegeben ist ein Arbeitsblatt zur Chromatographie, in dem ausgehend von einem Alltagsphänomen das Trennverfahren in seinen Grundlagen eingeführt wird. Das Arbeitsblatt ist nicht als Experimentiervorschrift zu verstehen, sondern gibt vielmehr einen Überblick über die wichtigsten Aspekte des Verfahrens. Somit kann es auch nicht ohne eine weiterführende unterrichtliche Behandlung eingesetzt werden. Es erlaubt jedoch eine erste Orientierung im Feld und kann zur Wiederholung genutzt werden.

Die eingebundene Abbildung ist aus Gründen der Vereinfachung bewusst schematisch erstellt, kann prinzipiell aber auch durch die fotografische Abbildung eines entsprechenden Chromatogramms ersetzt werden. In diesem Fall zerlaufen jedoch die einzelnen Farbstofffraktionen ineinander und die gewünschten Beobachtungen werden durch das Vorliegen von Oxidationsprodukten und weiteren Blattfarbstoffen erschwert. Aufgrund des schematischen Charakters sind auch keine R_f -Werte aus dem Chromatogramm abzuleiten (was ohne Kenntnis des Fließmittels und des Adsorbens auch kaum Sinn machen dürfte).

Ein erster Blick auf das Arbeitsblatt zeigt, dass sich Potenziale für multimediales Lernen ergeben und dass die Darstellung einer gewissen Gliederung folgt. Für ein dezidiertes Urteil, inwiefern die dargestellte Form das Lernen unterstützen kann, schlagen wir eine Checkliste vor (Abbildung VI.2; für eine Blankovorlage: s. Anhang), die sich an den in Kapitel V vorgestellten Gestaltungsprinzipien orientiert. Dabei ist jedes Prinzip durch Fragen operationalisiert, die sich bezogen auf das Arbeitsblatt mit „gut“ (+), „akzeptabel“ (0) oder „schlecht“ (–) bewerten lassen. Die Kategorie „akzeptabel“ wird dann angewählt, wenn die Gestaltung zwar nicht optimal ist, aber im Einzelfall auch nicht die Gefahr droht, dass Schülerinnen und Schülern mit dem Arbeitsblatt nicht lernen können. Ein Haken in dieser Kategorie erinnert Lehrerinnen und Lehrer daran, dass hier weiteres Potenzial zur Verbesserung besteht, selbst wenn unmittelbar keine Überarbeitung erfolgen muss. Deswegen werden in der Checkliste differenzierte Hinweise auf mögliche Adaptationen gegeben. In aller Regel wird die Adaption einer noch akzeptablen Gestaltung weniger tiefgreifend und arbeitsaufwändig sein als die Einschätzung einer schlechten Qualität.

Abbildung VI.1:
Arbeitsblatt zur
Chromatographie

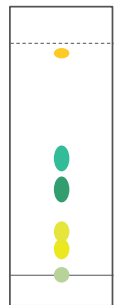
Trennverfahren: Chromatographie

Jedes Jahr im Herbst ändern die Blätter an Laubbäumen ihre Farbe von grün über verschiedene Orange- und Rottöne, bis sie schließlich von den Bäumen fallen. Doch woher kommen diese neuen Farben, die man zuvor nicht gesehen hat? Waren sie schon immer in den Blättern oder entsteht im Herbst in ihnen etwas ganz Neues?

Um diese Frage zu beantworten, kann man genauer die Farbstoffe betrachten, die im Blatt vorliegen. Man nutzt dazu ein Verfahren, das sich Chromatographie nennt (von griech. *chroma* – Farbe und *graphein* – schreiben). Bei diesem Verfahren macht man sich zwei Stoffeigenschaften zunutze. Zum einen lösen sich verschiedene Farbstoffe unterschiedlich gut in einem Lösemittel. Zum anderen haften (adsorbieren) sie unterschiedlich gut an bestimmten Oberflächen.

Deswegen werden in der Chromatographie Farbstoffgemische in einem geeigneten Lösemittel gelöst (mobile Phase), das an einer festen Oberfläche (stationäre Phase) vorbeifließt. Dabei trennen sich die einzelnen Farbstoffe voneinander: Jene, die besonders gut an der festen Oberfläche haften, im Lösemittel aber nur wenig löslich sind, bleiben dicht an der Startposition liegen. Andere, die besonders gut in der mobilen Phase löslich sind, aber nur schlecht an der stationären Phase adsorbieren, wandern weit mit. Man erhält so ein Chromatogramm, in dem die verschiedenen Farbstoffe getrennt voneinander vorliegen. Je nachdem, wie weit sie von der Startposition mitgetragen worden sind, kann man sie sogar genau identifizieren

Damit man nun entscheiden kann, ob in grünen Blättern schon von Anfang an auch die gelben und orangen Farben enthalten sind, stellt man einen Brei aus fein mit Seesand und Ethanol verriebenen Blättern her. Dabei färbt sich das Ethanol deutlich grün. Man filtriert die Lösung und bringt ein paar Tropfen davon auf eine Chromatographieplatte (nicht vergessen die Startposition zu markieren, zum Beispiel mit einer Linie wie in der Abbildung). Dann taucht man die Platte soweit in das Lösemittel, dass die Startposition gerade noch nicht benetzt ist. Die mobile Phase zieht nun auf der Platte nach oben (Fließrichtung) und zieht dabei die besser löslichen Farbstoffe weiter mit als die schlechter löslichen. Mit einer gestrichelten Linie ist gekennzeichnet, wie hoch das Lösemittel auf der Platte gestiegen ist (Lösemittelfront). Am Ende kann man sehen, dass sich das Farbstoffgemisch in viele einzelne Farbpunkte aufgetrennt hat. In der Mitte liegt beispielsweise ein grüner Farbstoff (Chlorophyll-a), direkt darunter ist ein zweiter grüner Punkt zu erkennen (Chlorophyll-b) und am weitesten weg von der Startposition liegt ein gelboranger Streifen (Carotinoide). Ganz unten finden sich Streifen einer Gruppe gelber Farbstoffe (Xantophylle).



Man kann also erkennen, dass die gelborangen Farbtöne von Anfang an im Blatt enthalten sind. Sie werden im Frühjahr und Sommer nur von den grünen Blattfarbstoffen überdeckt. Die grünen Blattfarbstoffe werden im Herbst abgebaut, sodass dann die gelborangen Farben hervorkommen können.

3. Analyse des Arbeitsblatts

Mit Blick auf das Multimediaprinzip gilt, dass sich die Abbildung im Arbeitsblatt auf den Text bezieht (Frage (1): +); hinsichtlich einer Alltagsorientierung ist jedoch auch weiteres Bildmaterial denkbar ((2): +). Der vorliegende Text selbst ist auf die Abbildung bezogen (Kohärenzprinzip). Dies könnte aber z. B. durch einen konkreten Verweis auf die Abbildung deutlicher werden ((3): 0). Ablenkende oder unnötige Information liegt bestenfalls in der altphilologischen Herleitung des Begriffs vor, auf die man auch verzichten kann ((4): 0) – ansonsten erscheint das Arbeitsblatt auf Wesentliches reduziert. Die Abbildung steht räumlich dicht an dem Textabschnitt (Prinzip der räumlichen Nähe), auf den sie sich bezieht ((5): +). Gleichwohl enthält der Text Informationen, die im Bild nicht gekennzeichnet sind und so besteht die Gefahr von *split attention* ((6): –). Eine Gliederung des Textes ist erkennbar (Signalgeberprinzip) und weitestgehend sinnvoll ((7): 0), wo-

	+	0	–	Mögliche Konsequenzen
Multimediaprinzip				
(1) Sind <u>auf den Inhalt bezogene</u> Abbildungen vorhanden?	✓			0: Abb. prüfen auf Alternativen –: Abbildungen entfernen
(2) Sind Abbildungen bekannt, die auf den Inhalt bezogen werden können?	✓			+: Abbildungen einbinden 0: ggf. neue Abb. recherchieren
Kohärenzprinzip				
(3) Sind Text- und Bildinformation aufeinander bezogen?		✓		0: Bezüge deutlicher herstellen, Information ggf. tilgen –: Bezüge herstellen/Information tilgen (<i>seductive detail</i>)
(4) Gibt es unnötige/ablenkende Information in Text- oder Bildform? (<i>seductive detail</i>)		✓		+: Ablenkende/unnötige Information tilgen 0: Information prüfen, ggf. tilgen
Prinzip der räumlichen Nähe				
(5) Stehen aufeinander bezogene Bild- und Textinformation dicht beieinander?	✓			0: Räumliche Nähe deutlicher herstellen –: Räumliche Nähe herstellen
(6) Sind Bildinformationen durch erläuternde Einträge im Bild ergänzt? (<i>split attention</i>)			✓	0: Möglichkeit f. bessere Integration prüfen/ergänzen –: Legende anlegen/in Abbildung hineinschreiben
Signalgeberprinzip				
(7) Ist der Arbeitstext in Sinneinheiten gegliedert?		✓		0: Gliederung ausschärfen –: Gliederung vornehmen
(8) Sind die Gliederungsebenen mit sinnvollen Überschriften versehen?			✓	0: Überschriften an eigene SuS anpassen –: Überschriften ergänzen
(9) Sind wichtige Fachbegriffe und/oder Zusammenhänge kenntlich gemacht? (Emphase)			✓	0: f. eigene SuS unnötige Emphase tilgen, wesentliche Emphase ergänzen; –: f. eigene SuS wesentliche Emphase ergänzen
(10) Ist der Umfang an gewählten Signalgebern überschaubar?				0: Signalgeber reduzieren –: Signalgeber neu konzipieren
Segmentierprinzip				
(11) Werden komplexe Abläufe in Einzelschritten dargestellt?			✓	0: Prüfen, ob entsprechende Darstellung notwendig ist, ggf. ergänzen; –: Darstellung ergänzen
Personalisierungsprinzip				
(12) Werden Lernende direkt angesprochen?			✓	–: Man-Formulierungen → Du-Ansprachen
(13) Werden dialogische Redemittel eingesetzt?			✓	–: Ggf. adaptieren, bei Verzicht auf Du-Ansprache

Abbildung VI.2: Exemplarisch ausgefüllte Checkliste

bei der Erläuterung der unterschiedlichen Laufweiten im Fließtext unterzugehen droht und durch weitere Gliederung behoben werden kann (z. B. durch Aufzählungspunkte). Teilüberschriften hingegen fehlen gänzlich und sollten ergänzt werden ((8): –). Gleiches gilt für die Hervorhebung wesentlicher Informationen, deren Fehlen es erschwert, Wichtiges vom weniger Wichtigem zu unterscheiden ((9): –). Daraus ergibt sich, dass der sinnvolle Umfang von Hervorhebungen nicht eingeschätzt werden kann ((10): /). Hinsichtlich einer Segmentierung von Prozessaspekten macht das Arbeitsblatt kein Angebot ((11): –). Dies könnte ergänzt werden, indem bspw. ein Chromatogramm nach unterschiedlichen Laufzeiten abgebildet wird. Schülerinnen und Schüler könnten daran erkennen, dass die Trennung erst mit der Zeit erfolgt und könnten vielleicht leichter nachvollziehen, dass es sich um ein Wechselspiel zwischen Löslichkeit und Adsorption handelt. Die Formulierungen des Textes sind durchgehend unpersönlich gehalten (Personalisierungsprinzip; (12): –) und könnten leicht in eine direkte Ansprache umgesetzt werden. Wo dies nicht gewünscht ist, könnten dialogische Redemittel eingesetzt werden, die aktuell gleichermaßen fehlen ((13): –). Die Entscheidung zwischen der persönlichen Ansprache oder dem Einsatz eines Dialogs muss jeweils vor dem Hintergrund der Lerngruppe getroffen werden. Der fiktive Dialog kann auf einzelne Lerngruppen albern wirken, dann ist die direkte Ansprache angebracht. Jedenfalls erscheint die Schaffung einer Identifikationsmöglichkeit dem unpersönlichen und daher unverbindlichen Rededuktus vorzuziehen.

Eine Adaption des Arbeitsblatts wird besondere Schwerpunkte auf jene Prinzipien legen, die in der Analyse am schwächsten bewertet worden sind (Signalgeber- und Personalisierungsprinzip). Am wenigsten dringlich erscheint eine Nachbesserung hinsichtlich des Multimediaprinzips, wenngleich weitere, dem Inhalt dienliche Abbildungen möglich wären.

4. Adaption

Bei Überarbeitung des Arbeitsblattes wurde (s. Abbildung VI.3) ein zweiter optischer Anker gesetzt, um das geschilderte Phänomen enger an den Alltag anzubinden. Diese Abbildung verdeutlicht darüber hinaus, dass die Laubfärbung bereits am Baum einsetzt und nicht etwa einem Zersetzungsprozess der Blattstruktur folgt. Es fällt auf, dass die Struktur des Textes dank der Zwischenüberschriften geordneter erscheint. Die Hervorhebung von zentralen Begriffen erleichtert es die wichtigen Informationen zu erkennen und von weniger wesentlichen zu unterscheiden, die hier noch nicht gelernt werden müssen (z. B. Xanthophylle, Carotinoide etc.). Die Einführung der zwei Aufzählungspunkte fasst kurz und durch Fettsatz gestützt zusammen, wovon die Laufweite eines Farbstoffs abhängt, und führt damit die beiden zuvor aufzählend eingeführten Stoffeigenschaften in ihrem Wechselspiel zusammen.

Die wesentlichste Veränderung betrifft die Abbildung, in der nun die relevanten Fachbegriffe direkt eingetragen sind. Damit ersetzt die Abbildung nicht den Text, doch erleichtert sie die Deutung, da das Springen zwischen Text und Bild quasi angeleitet wird.

Die hier vorgeschlagene Umarbeitung bewahrt den Originaltext in weiten Teilen, sodass der Formulierungsaufwand auf ein Minimum beschränkt ist, nämlich auf Zwischenüberschriften und eine direkte Ansprache. Ansonsten kommt man mit wenigen Veränderungen aus, die sich vor allem auf sprachliche Strukturierungen (Zuerst, dann, als drittes ...) beschränken.

Auch in dieser Form ist das Arbeitsblatt noch kein ‚Selbstläufer‘, doch es unterstützt Schülerinnen und Schüler in ihrer kognitiven Verarbeitung deutlich stärker als der Vorgänger. Der dazu betriebene Aufwand ist vertretbar und liegt merklich unter dem einer Neuerstellung. Beide Formen der Arbeitsblätter sowie eine Kopiervorlage für die Checkliste finden sich im Anhang.

Trennverfahren: Chromatographie

Problemstellung

Sicher hast Du auch schon einmal bemerkt, dass jedes Jahr im Herbst die Blätter an Laubbäumen ihre Farbe von grün über verschiedene Orange- und Rottöne ändern (so wie auf dem Foto rechts), bis sie schließlich von den Bäumen fallen. Aber hast Du Dich auch schon einmal gefragt, woher diese neuen Farben kommen? Glaubst Du, sie waren schon immer in den Blättern? Oder denkst Du, dass im Herbst etwas ganz Neues entsteht?



Grundlagen

Um diese Frage zu beantworten, kannst Du die Farbstoffe genauer betrachten, die im Blatt vorliegen. Dazu kannst Du ein Verfahren nutzen, das sich **Chromatographie** nennt. Du machst Dir bei diesem Verfahren zwei Stoffeigenschaften zunutze: (1) Die unterschiedliche Löslichkeit verschiedener Farbstoffe in einem Lösemittel, (2) die unterschiedliche Anhaftung (**Adsorption**) an bestimmten Oberflächen.

Zuerst musst Du bei einer Chromatographie Farbstoffgemische in einem geeigneten Lösemittel lösen. Diese Lösung nennt man **mobile Phase**, die danach an einer festen Oberfläche (**stationäre Phase**) vorbeifließt. Dabei trennen sich die einzelnen Farbstoffe voneinander:

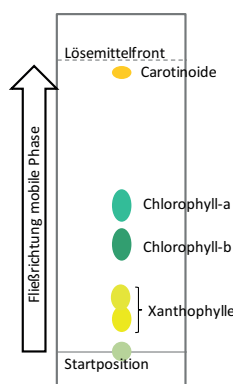
- Farbstoffe, die an der festen Oberfläche besonders **gut adsorbieren**, im Lösemittel aber nur wenig löslich sind, bleiben **dicht an der Startposition** liegen.
- Farbstoffe, die in der mobilen Phase, besonders **gut löslich** sind aber nur schlecht an der stationären Phase adsorbieren, **wandern weit** mit.

Man erhält am Ende ein **Chromatogramm**, in dem die verschiedenen Farbstoffe getrennt voneinander vorliegen. Je nachdem, wie weit sie von der Startposition mitgetragen worden sind, kann man sie sogar genau identifizieren

Experimentelles Vorgehen

Damit Du selbst entscheiden kannst, ob in grünen Blättern schon von Anfang an die gelben und orangen Farben enthalten sind, musst Du zuerst einen Brei aus fein mit Seesand und Ethanol verriebenen Blättern herstellen. Dabei färbt sich das Ethanol deutlich grün. Danach filtrierst Du die Lösung und bringst ein paar Tropfen davon auf eine Chromatographieplatte (nicht vergessen die Startposition zu markieren, z. B. mit einer Linie wie in der Abbildung rechts). Als drittes tauchst Du die Platte soweit in das Lösemittel, dass die Startposition gerade noch nicht benetzt ist.

Die mobile Phase zieht nun auf der Platte nach oben (**Fließrichtung**) und zieht dabei die besser löslichen Farbstoffe weiter mit als die schlechter löslichen. Schließlich kannst Du sehen, dass sich das Farbstoffgemisch in viele einzelne Farbstreifen aufgetrennt hat. Mit einer gestrichelten Linie ist gekennzeichnet, wie hoch das Lösemittel auf der Platte gestiegen ist – diese Grenze nennt man **Lösemittelfront**. In der Mitte liegt beispielsweise ein grüner Farbstoff (Chlorophyll-a), direkt darunter ist ein zweiter grüner Punkt zu erkennen (Chlorophyll-b) und am weitesten weg von der Startposition (durchgehende Linie) liegt ein gelboranger Streifen (Carotinoide). Ganz unten finden sich Streifen einer Gruppe gelber Farbstoffe (Xanthophylle).



Problemlösung

Man kann also erkennen, dass die gelborangen Farbtöne von Anfang an im Blatt enthalten sind. Sie werden im Frühjahr und Sommer nur von den grünen Blattfarbstoffen überdeckt. Die grünen Blattfarbstoffe werden im Herbst abgebaut, sodass dann die gelborangen Farben hervorkommen können.

Abbildung VI.3:
Arbeitsblatt zur
Chromatographie nach
der Überarbeitung

VII. Experimentunterstützte Lösungsbeispiele

Lösungsbeispiele sind wie bereits in Kapitel IV dargestellt Lernaufgaben, die aus einer Aufgabenstellung mit einer schrittweisen Musterlösung bestehen. Lösungsbeispiele können prinzipiell zu unterschiedlichen Fachinhalten gestaltet werden. Je nach Wahl des Fachinhaltes kann die Gestaltung des Lösungsbeispiels variieren, sodass es sehr schwierig ist, ein einziges „Rezept“ für die Entwicklung von Lösungsbeispielen zur Verfügung zu stellen. Zentrale Gestaltungshinweise, die berücksichtigt werden sollten, wurden in Kapitel V beschrieben. Neben diesen Gestaltungshinweisen kann es je nach Fachinhalt sinnvoll sein, das Lösungsbeispiel um weitere Lernmaterialien zu ergänzen.

Im Rahmen des Projektes Ganz In wurden Lösungsbeispiele entwickelt und evaluiert, die der Förderung naturwissenschaftlich-experimenteller Arbeitsweisen dienen (siehe Kapitel I). Da das Experiment eine ganz zentrale Rolle im Rahmen dieser Arbeitsweisen spielt, wurden die Lösungsbeispiele mit Experimentierboxen kombiniert (Koenen, 2014). Diese Kombination eines Lösungsbeispiels mit einer Experimentierbox wird als experimentunterstütztes Lösungsbeispiel bezeichnet. In diesem Kapitel sollen die entwickelten experimentunterstützten Lösungsbeispiele vorgestellt werden. Des Weiteren werden einige exemplarische Ergebnisse in Bezug auf die Lernförderlichkeit dieser Kombination vorgestellt (für weitere Details siehe Koenen, 2014).

1. Experimentunterstützte Lösungsbeispiele – eine Orientierung

Das Angebot einer Experimentierbox als Ergänzung zu den klassischen papierbasierten Lösungsbeispielen ermöglicht es den Schülerinnen und Schülern ein Experiment *hands-on* durchzuführen, eigene Beobachtungen zu machen und diese wiederum mit den exemplarischen Lösungsschritten des Lösungsbeispiels abzugleichen. Abbildung VII.1 zeigt wie ein solches experimentunterstütztes Lösungsbeispiel im Prinzip aussehen kann. An vorbestimmten Stellen im Lösungsbeispiel wird explizit auf das Experiment verwiesen und die Schülerinnen und Schüler werden dazu aufgefordert das Experiment selbst durchzuführen, sodass eine konkrete Anbindung des Experiments an den Text des Lösungsbeispiels gegeben ist. Das Experiment wird im Verlauf des Lösungsbeispiels wiederholt aufgegriffen.

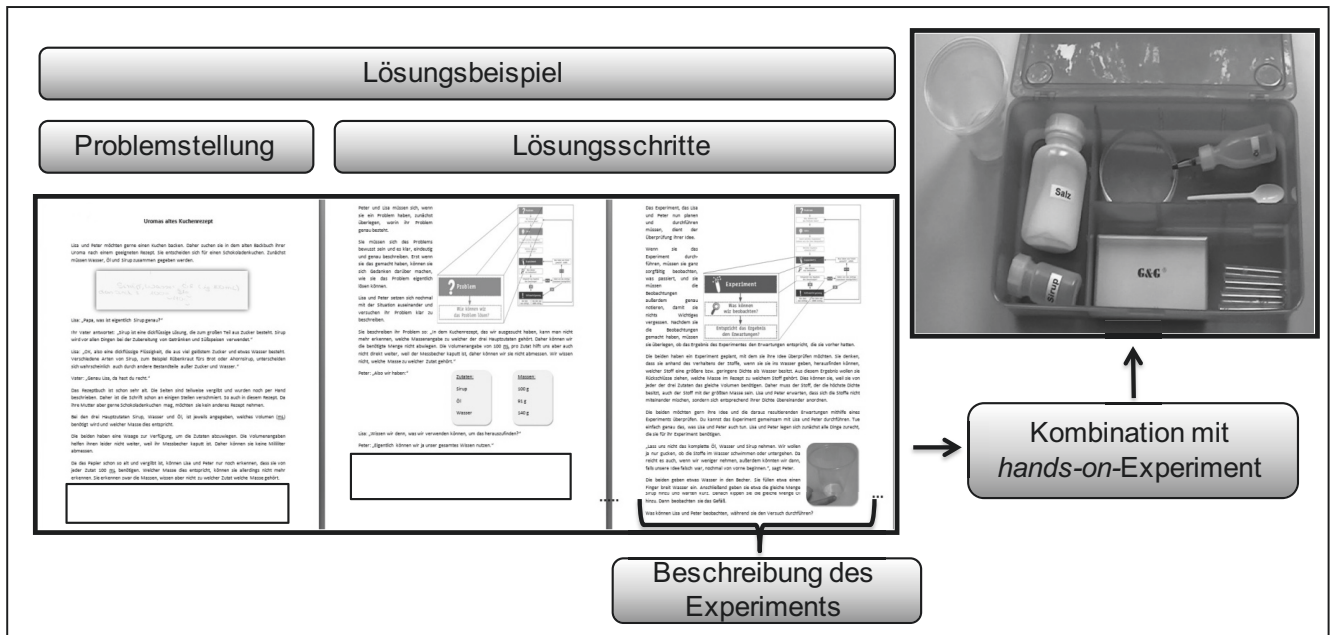


Abbildung VII.1: Übersicht über ein experimentunterstütztes Lösungsbeispiel

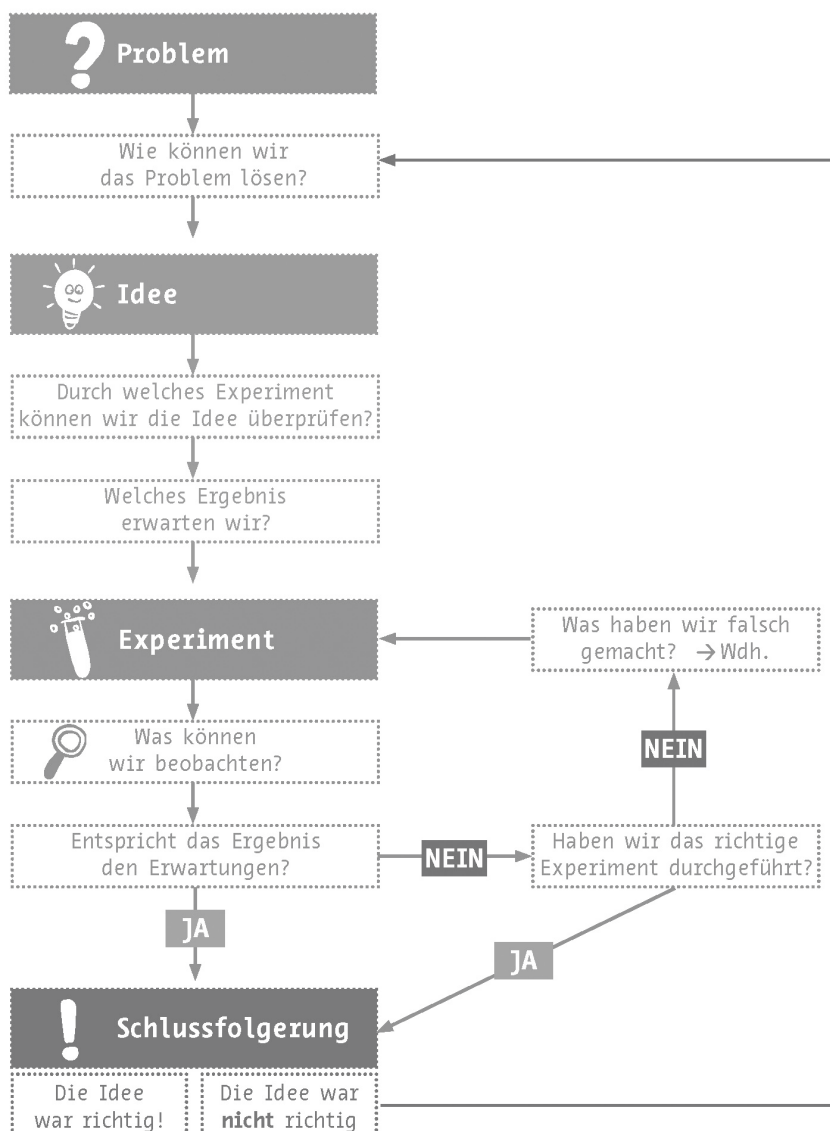


Abbildung VII.2: Flussdiagramm zum naturwissenschaftlich-experimentellen Arbeiten (aus Hübinger et al. 2009)

Die Ergänzung des Lösungsbeispiels um ein *hands-on*-Experiment hat unmittelbare Konsequenzen für die Gestaltung des Lösungsbeispiels, da das Experiment im Lösungsbeispiel konkret aufgegriffen werden soll. Dies kann prinzipiell auf zwei verschiedene Arten erfolgen: themen- oder methodenorientiert. In der ersten Orientierung würde das eingebundene Experiment dazu dienen, das Konzept, z. B. die Dichte, einzuführen und darzustellen. In einem solchen Experiment könnte man zum Beispiel betrachten, warum gleich große Würfel aus verschiedenen Stoffen (z. B. Glas, Holz, Styropor, Eisen) in Wasser schwimmen oder sinken. In dem Lösungsbeispiel würde es in der themenorientierten Variante alleine darum gehen, warum einige Stoffe schwimmen und andere nicht. Die notwendigen Faktoren würden diskutiert werden und der Zusammenhang zwischen Masse und Volumen könnte erarbeitet werden. Bei dieser Art des experimentunterstützten Lösungsbeispiels handelt es sich um ein *single-content*-Lösungsbeispiel.

Setzt man das Lösungsbeispiel methodenorientiert ein, tritt das naturwissenschaftliche Sachthema (in diesem Beispiel die Dichte) gewissermaßen ein wenig in den Hintergrund, um das grundlegende Vorgehen beim naturwissenschaftlich-experimentellen Arbeiten (Abbildung VII.2) zu vermitteln. Dieser Prozess kann zwar weitgehend unabhängig von einem *bestimmten* Sachthema erarbeitet werden, kann aber gleichzeitig nicht *ganz ohne* einen solchen Bezug erfolgen. Hierbei handelt es sich demnach um ein *double-content*-Lösungsbeispiel, da neben einem fachinhaltlichen auch ein fachmethodisches Konzept bearbeitet wird. Dies stellt andere Anforderungen an die Gestaltung eines Lösungsbeispiels, weil beide Bereiche in angemessener Form Berücksichtigung finden müssen. Dies bedeutet aber auch, dass durch die Gestaltung des Lösungsbeispiels deutlich werden muss, ob das gewählte Vorgehen themen- oder methodenorientiert ist, um Schülerinnen und Schüler bei der richtigen Fokussierung während ihres Lernprozesses zu unterstützen.

Bei den beschriebenen experimentunterstützten Lösungsbeispielen steht der Prozess der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung im Vordergrund. Die thematische Einbettung wird genutzt, um den methodischen Prozess angemessen transportieren zu können.

2. Sequenz experimentunterstützter Lösungsbeispiele zur Förderung naturwissenschaftlich-experimenteller Arbeitsweisen

Im Folgenden soll nun eine Sequenz von experimentunterstützten Lösungsbeispielen vorgestellt werden, die im Projekt Ganz In entstanden ist. Diese Sequenz von Lösungsbeispielen ist mit der Perspektive einer Förderung naturwissenschaftlich-experimenteller Arbeitsweisen im naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht entwickelt und evaluiert worden. Die entwickelten Materialien bieten darüber hinaus das Potenzial, binnendifferenzierend auch im weiterführenden Unterricht, zur Nachbereitung zu Hause oder in zusätzlichen Lernzeiten eingesetzt zu werden, da es sich um Material zum selbstständigen Arbeiten handelt.

2.1 Ziel der Sequenz experimentunterstützter Lösungsbeispiele

Bei den entwickelten Lösungsbeispielen handelt es sich um *double-content*-Lösungsbeispiele (Renkl et al., 2009), da methodenorientiert der Prozess des naturwissenschaftlich-experimentellen Arbeitens erarbeitet wird, welcher auf verschiedene Aspekte im Themenfeld ‚Wasser‘ bezogen wird (z.B. Oberflächenspannung, Dichte und Löslichkeitsverhalten). Die Fokussierung auf diesen Themenbereich ermöglicht es Experimente

NAW-Ansatz:

- 1) Findung einer Idee
- 2) Planung und Durchführung eines Experiments
- 3) Ziehen einer Schlussfolgerung

Abbildung VII.3:
Der NAW-Ansatz
(u. a. Klos et al.
2008)

auszuwählen, die deutliche Effekte haben, und gleichzeitig nur ein sehr geringes Gefährdungspotenzial aufweisen.

Der Dreischritt des NAW-Ansatzes (siehe Abbildung VII.3) als Methode des naturwissenschaftlich-experimentellen Arbeitens wird zur Strukturierung der Lösungsschritte des Lösungsbeispiels herangezogen. Durch die Darstellung des Prozesses in Form eines Flussdiagramms (siehe Abbildung VII.2) als Strukturierungshilfe wird dieser Prozess den Schülerinnen und Schülern stets vor Augen geführt.

2.2 Die Sequenz experimentunterstützter Lösungsbeispiele

Die Sequenz experimentunterstützter Lösungsbeispiele besteht aus zehn auch einzeln bearbeitbaren Lösungsbeispielen, die jeweils mit einem Experiment kombiniert werden. Jeweils zwei Experimente wurden dabei in einer Experimentierbox zusammengefasst. Die Experimente wurden von van Saan (2008) übernommen und für die Lösungsbeispiele adaptiert. Eine Übersicht über die Sequenz findet sich in Tabelle VII.1. Packlisten für die Experimentierbox und exemplarische experimentunterstützte Lösungsbeispiele befinden sich im Anhang dieses Bandes.

Box	Lösungs- beispiel	Thema	Experiment	Kontext
1	1	Stofftrennung	Trennung verschiedener Stoffe (Sand, Erbsen, Wasser)	Peter und Lisa bekommen von ihrer Mutter ein Gefäß mit Wasser, Sand und Erbsen und sollen die Bestandteile voneinander trennen.
	2	Stofftrennung	Trennung verschiedener Stoffe (Salz, Wasser)	Welche Flüssigkeit ist in diesem Gefäß enthalten? Salzwasser oder Süßwasser?
2	3	Diffusion/ Teilchenbewegung	Eingefärbter Zuckerwürfel wird in Wasser gelöst	Warum färbt Schokomüsli Milch braun?
	4	Lösungsverhalten	Zucker, Zuckerwürfel und Kandiszucker werden unter kontrollierten Bedingungen in Wasser gelöst	Salatdressing: Welche Zuckersorte eignet sich am besten bei der Zubereitung?
3	5	Dichte	Das sinkende/schwebende Ei (Leitungswasser/Salzwasser)	Warum geht man im Toten Meer nicht unter?
	6	Dichte	Unterschiede der Dichte: Wasser/Öl/Sirup	Uromas altes Backbuch, in dem die Mengenangaben nicht mehr zu entziffern sind.
4	7	Löslichkeit	Vergleich: Wasser/Waschbenzin/Öl	Ölmalfarben: Pinsel reinigen
	8	Oberflächen- spannung	Münzen im Wasserglas	Der Wasserläufer
5	9	Oberflächen- spannung	Senken der Oberflächenspannung: Wasser/Pfeffer/Seife	Wasserverschmutzung durch eine Seifenfabrik
	10	Kapillarkräfte	Kapillarkräfte in Röhrchen mit verschiedenen Innendurchmessern	Wie funktioniert ein Füllfederhalter?

Tabelle VII.1: Übersicht über die Sequenz experimentunterstützter Lösungsbeispiele

2.3 Design der Lösungsbeispiele und der Sequenz der Lösungsbeispiele

Die Lösungsbeispiele der dargestellten Sequenz wurden den Prinzipien zur lernförderlichen Gestaltung von Lösungsbeispielen entsprechend konstruiert, die ausführlich in Kapitel V dargestellt sind. Im Folgenden wird exemplarisch aufgezeigt, wie die grundlegenden Prinzipien in den Lösungsbeispielen realisiert worden sind.

Es wurden die Prinzipien des multimedialen Lernens (Mayer, 2005c) soweit wie möglich angewendet. Dies bedeutet, dass die Abbildungen möglichst optimal in den Text integriert wurden. Des Weiteren wurde die Anzahl der redundanten Informationen reduziert und zusammengehörige Informationen räumlich nah zueinander dargestellt. Die einzelnen Lösungsschritte wurden durch Seitenumbrüche voneinander getrennt. Diese auch als Segmentierungsprinzip bekannte Methode hebt die Struktur der experimentunterstützten Lösungsbeispiele besonders hervor. Die Lernenden werden so dazu angeregt, die Funktion der einzelnen Lösungsschritte noch einmal zu überdenken.

Die experimentunterstützten Lösungsbeispiele nutzen darüber hinaus einen lebensweltlichen Kontext (vgl. Fechner, 2009; Kölbach, 2011), der in der Spalte Kontext in Tabelle VII.1 skizziert wird. In dieser kontextuellen Einbettung beschäftigen sich zwei Protagonisten einer Cover Story (Gerjets, Scheiter & Schuh, 2008) im Laufe des Lösungsbeispiels mit dem jeweiligen naturwissenschaftlichen Problem. Bei den beiden Protagonisten handelt es sich um das Zwillingsspärchen Lisa und Peter, die die Jahrgangsstufe 6 besuchen und die in ihrem Alltag mit verschiedenen naturwissenschaftlichen Problemen konfrontiert werden. Diese versuchen sie mithilfe von Experimenten zu lösen. Dabei erhalten sie gelegentlich Unterstützung von ihren Eltern oder ihrer Großmutter.





2.4 Prompts als weitere Unterstützungsmaßnahme

Um die Schülerinnen und Schüler weiter beim Lernen mit den experimentunterstützten Lösungsbeispielen zu unterstützen, wurden in die Lösungsbeispiele sogenannte Prompts integriert. Dabei handelt es sich um zusätzliche Lernhinweise, die die Schülerinnen und Schüler zum Lernen nutzen können. Prinzipiell handelt es sich dabei um eine nicht direktive Form der Unterstützung (vgl. Wirth, Thillmann & Künsting, 2008), weil es den Schülerinnen und Schülern selbst überlassen ist, inwieweit und in welcher Tiefe sie diese Hinweise bearbeiten bzw. für ihren eigenen Lernprozess nutzen.

Die eingesetzten Prompts regen Schülerinnen und Schüler dazu an, Erklärungen auf der Ebene der naturwissenschaftlich-experimentellen Arbeitsweisen zu formulieren. Jedoch setzt die Nutzung von Prompts voraus, dass die Schülerinnen und Schüler bereits über ein Minimum an Vorwissen verfügen. Die Prompts unterstützen das Anwenden des Wissens in dieser Situation (Wirth et al., 2008). Das Vorwissen kann über Prompts demnach gezielt angesteuert werden, es muss aber prinzipiell verfügbar sein.

Die eingesetzten Prompts beziehen sich auf die Schritte des naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozesses und sind in Tabelle VII.2 dargestellt. Sie dienen dazu, die Schülerinnen und Schüler bei der Fokussierung auf diesen Prozess zu unterstützen.

Tabelle VII.2:
Übersicht über die
eingesetzten Prompts

Lösungsschritt	Prompt
Formulierung des Problems	 <p>Erläutere, wieso es Lisa und Peter helfen kann, die Situation zu beschreiben.</p>
Aufstellung einer Idee/Hypothese	 <p>Entscheide, über welche Punkte (maximal 3) Lisa und Peter sich Gedanken machen müssen, wenn sie einen Vorschlag entwickeln.</p>
Planung und Durchführung eines Experiments	 <p>Erkläre, was Lisa und Peter nach der Durchführung des Experiments miteinander vergleichen müssen, um weiterarbeiten zu können.</p>
Ziehen einer Schlussfolgerung	 <p>Begründe, wovon Lisas und Peters Entscheidung abhängt.</p>

3. Ausgewählte Forschungsergebnisse

Im Folgenden sollen kurz einige Ergebnisse aus der Evaluation der dargestellten Sequenz von Lösungsbeispielen präsentiert werden (für Details vgl. Koenen 2014). Die dargestellten Ergebnisse beziehen sich nur auf diejenigen Schülerinnen und Schüler der Jahrgangsstufe 6, die zu allen drei Hauptmesszeitpunkten (Prä-, Post-, Follow up) anwesend waren. Dabei handelt es sich um 223 Schülerinnen und Schüler; diese waren im Durchschnitt 11,2 Jahre alt und 43,5 Prozent waren weiblich.

Die Ergebnisse zeigen, dass das Vorwissen, das die Schülerinnen und Schüler mitbringen, für das erfolgreiche Lernen mit den experimentunterstützten Lösungsbeispielen von Bedeutung ist. Insbesondere für die Schülerinnen und Schüler mit wenig Vorwissen ist sich deskriptiv ein Wissenszuwachs durch das Lernen mit den Lösungsbeispielen sichtbar. Dies bedeutet, dass die Schülerinnen und Schüler durch die Arbeit mit den Lösungsbeispielen effektiv lernen können.

Für Schülerinnen und Schüler mit höherem Vorwissen wurde dies hingegen nicht nachgewiesen. Hier zeigen sich im Anschluss an die Lernphase mit den Lösungsbeispielen geringere Mittelwerte als zu Beginn der Lernphase. Dieses Ergebnis verdeutlicht, dass es wichtig ist, welche Materialien man welchen Schülerinnen und Schülern zur Verfügung stellt, weil man auch bereits angelegte Schemata stören kann. Es handelt sich bei diesem Ergebnis also um ein Indiz für die Wichtigkeit von Binnendifferenzierung. Dieses Phänomen ist auch unter dem Begriff *Expertise-Reversal-Effekt* bekannt (vgl. auch Leslie, Low, Jin & Sweller, 2012; Kalyuga & Renkl, 2010). Dieser besagt, dass Lernmaterial, welches gezielt für die Bedürfnisse von Schülerinnen und Schülern mit wenig Vorwissen gestaltet ist (wie diese experimentunterstützten Lösungsbeispiele), für Schülerinnen und Schüler mit höherem Vorwissen lernhinderlich sein kann. Der *extraneous load* steigt für diese Schülerinnen und Schüler durch die Fülle an zusätzlichen, für sie irrelevanten Informationen, weil sie sich gezwungen fühlen mit diesen Informationen zu arbeiten.

Die Ergebnisse zeigen demnach, dass das Lernen mit Lösungsbeispielen zu einem Lernerfolg bei Schülerinnen und Schülern mit geringem Vorwissen sowohl im Bereich des naturwissenschaftlich-experimentellen Arbeitens als auch im Bereich des Fachwissens führen kann. Für Schülerinnen und Schüler mit höherem Vorwissen scheinen sie hinge-

gen nicht geeignet zu sein. Für diese, so zeigen weitere Ergebnisse, eignen sich stärker geöffnete, experimentelle Problemlöseaufgaben besser zur Förderung naturwissenschaftlich-experimenteller Arbeitsweisen.

4. Fazit

Insgesamt kann festgehalten werden, dass die beschriebenen experimentunterstützten Lösungsbeispiele zur Förderung von Schülerinnen und Schülern mit geringem Vorwissen geeignet sind. Die Ergebnisse zeigen auch, dass das Vorwissen der Schülerinnen und Schüler bei der Auswahl eines Lernmaterials mit berücksichtigt werden sollte. Die beschriebenen Materialien eignen sich gut zur eigenständigen Nacharbeitung und Nachbereitung von Inhalten in oder außerhalb des regulären Chemieunterrichts. Besonderes Augenmerk im Ganzttag gilt dabei sicherlich dem Lernen in zusätzlichen Lernzeiten oder Freiarbeitsphasen. Auch über eine Nacharbeitung von verpassten Stunden in Form von Lösungsbeispielen könnte nachgedacht werden. Die dargestellten Lösungsbeispiele (siehe Anhang) bieten sicherlich Potenzial, sie flexibel in den verschiedensten Situationen einzusetzen.

VIII. Lösungsbeispiele im Fach Chemie – auch außerhalb von Experimentiersituationen einsetzbar

1. Algorithmische Lösungsbeispiele zum Erlernen von Stöchiometrie

Vor allem das Erarbeiten und Verstehen von stöchiometrischen Rechnungen fällt Schülerinnen und Schülern schwer. In der Mathematik hat es sich bewährt, algorithmische Aufgaben anhand von Übungsbeispielen einzuführen und zu festigen, im Bereich der Chemie wird dies in Schulbüchern nur selten aufgegriffen. Ist dies der Fall, so beschränkt sich dies in der Regel auf das Abbilden der bloßen Beispielrechnung. Erläuterungen fehlen ganz oder sind im umliegenden Text „versteckt“. Betrachtet man die Befunde aus der Lösungsbeispielforschung, so kann man annehmen, dass Lösungsbeispiele sich auch für das Erlernen von stöchiometrischen (algorithmischen) Chemieaufgaben eignen sollten.

Erste Hinweise hierzu gibt eine Studie von Maier-Richter (2005), welche die Effizienz des Arbeitens mit Lösungsbeispielen bei Erstsemesterstudierenden für das Lehramt an Gymnasien und Gesamtschulen untersuchte. Hierzu entwickelte Maier-Richter eine onlinebasierte Lernumgebung, mit welcher sich die Studierenden die fachlichen Inhalte der Themengebiete Löslichkeitsprodukte, Ionenprodukte und Fällungsgleichgewichte anhand des Studiums einer Serie von Lösungsbeispielen erarbeiten konnten. Das angebotene Lernmodul umfasst insgesamt neun Lösungsbeispiele und drei Übungsbeispiele. Die einzelnen Lösungsbeispiele bestehen klassisch aus einem Aufgabentext und mehreren Teilschritten, welche nach logischen Zwischenzielen (Strukturierung des Lösungsbeispiels) dargeboten werden sowie der Lösung selbst. Die Zwischenziele können per Mausklick abgerufen werden, sodass diese auf Wunsch nacheinander auf dem Bildschirm erscheinen. Durch diese Trennung der Zwischenziele voneinander wird eine stärkere Auseinandersetzung mit den einzelnen Lösungsschritten angeregt. Die Lernenden beschäftigen sich zunächst ausführlich mit einem Lösungsschritt und dem dahinter stehenden Konzept, bevor sie zum nächsten Teilschritt weiter klicken; dies sollte zu einem erhöhten Verständnis führen. Neben der eigentlichen Aufgabe erscheint auf jeder Seite ein leeres Kästchen,

The screenshot shows a web application window titled "UNIVERSITÄT DUISBURG ESSEN". The main heading is "Chemisches Gleichgewicht" and the sub-heading is "Löslichkeitsprodukt / Fällungsreaktionen". The section is "1. Lösungsbeispiel".

Problemstellung:
Für Bleichlorid PbCl_2 ist das Löslichkeitsprodukt $1,6 \cdot 10^{-4} \text{ mol}^3/\text{L}^3$ bei 25°C . Wie groß ist die Konzentration der Blei-Ionen in der gesättigten Lösung?

Lösung:

$$\text{PbCl}_2(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{Cl}^{-}(\text{aq})$$

$$L(\text{PbCl}_2) = c(\text{Pb}^{2+}) \cdot c^2(\text{Cl}^{-})$$

$$c(\text{Cl}^{-}) = 2 \cdot c(\text{Pb}^{2+})$$

$$L(\text{PbCl}_2) = c(\text{Pb}^{2+}) \cdot c(2 \cdot c(\text{Pb}^{2+}))^2 = 4 \cdot c^3(\text{Pb}^{2+})$$

On the right side, there are four "weiter" buttons corresponding to each step of the solution.

Selbsterklärung
Die Chlorid-Ionenkonzentration wird im Löslichkeitsprodukt durch die entsprechende Blei-Ionenkonzentration ersetzt

At the bottom right, there is an "ok" button.

Abbildung VIII.1: Exemplarisches Lösungsbeispiel mit integrierter instruktoinaler Erklärung und mit einer von einem Probanden generierten Selbsterklärung aus der Online-Lernumgebung

welches dazu anregen soll Selbsterklärungen zu formulieren. Unter einer Selbsterklärung versteht man einen eigenständig verfassten Kommentar zu einem abgebildeten Lösungsschritt, welcher fachlich (z. B. Bezug zu einem Konzept) oder auch metakognitiv sein kann. Bei der Hälfte der Probanden erschien zusätzlich noch ein Kästchen mit einer integrierten instruktionalen Erklärung. Dies sind Erklärungen, welche dem Lernenden den Bezug zwischen dem Lerninhalt und dem allgemeinen theoretischen Prinzip verdeutlichen (siehe Abbildung VIII.1). Abbildung VIII.1 zeigt den exemplarischen Aufbau eines Lösungsbeispiels des Lernmoduls.

Die Probandinnen und Probanden wurden aufgefordert, drei Lösungsbeispiele zu einem Themenbereich zu bearbeiten, anschließend folgte ein Übungsbeispiel, welches sie eigenständig lösen mussten. Die Daten wurden per Log Files aufgezeichnet. Zudem wurde ein schriftlicher Vor- und Nachtest durchgeführt. Der Leistungsvergleich zwischen den beiden Testzeitpunkten weist auf einen deutlichen Lernzuwachs hin. Auch zeigt sich in einem Gruppenvergleich (mit vs. ohne integrierte Erklärungen), dass die Gruppe mit den Erklärungen signifikant besser abschnitt als die ohne weitere Erklärungen. Weiterhin gaben die Probandinnen und Probanden an, dass sie das Arbeiten mit den Lösungsbeispielen als sehr strukturiert und gut nachvollziehbar empfanden. Auch die Übungsbeispiele wurden positiv bewertet, insbesondere die unmittelbare Rückmeldung über die Richtigkeit der Ergebnisse und die Korrekturmöglichkeiten, die die Lernumgebung bot, fanden Anklang.

Wie in zahlreichen anderen Studien bereits belegt, konnte auch hier der positive Effekt beim Lernen mit Lösungsbeispielen (der so genannte *Worked-Example-Effect*) gezeigt werden. Die Probanden wiesen nicht nur einen überzufälligen Lernzuwachs auf, sondern äußerten sich zudem sehr positiv über das Lernen mit dem Aufgabenformat (vgl. LeFevre & Dixon, 1986). Auch wenn dies nur erste Befunde in diesem Bereich sind und sicherlich noch weitere Studien (z. B. über das Lernen von Stöchiometrie mit Lösungsbeispielen im Vergleich zu konventionellen Übungsaufgaben) sowie die Entwicklung und Evaluation von weiteren Lösungsbeispielen ausstehen, lässt sich doch ableiten, dass dies ein vielversprechendes Format auch für den Chemieunterricht sein kann. Dies wird dadurch bekräftigt, dass die Ergebnisse der vorliegenden Studie, nicht gänzlich neu sind, sondern Ergebnisse in anderen Bereichen wie beispielsweise der Mathematik bestätigen.

Aufgrund der noch jungen Forschung im Bereich Chemie, kann man für den Chemieunterricht bis dato nur auf einen Sammelband für Lösungsbeispiele zurückgreifen (Schüßler et al., 2016). Aus den Ergebnissen dieser und anderer vorliegenden Studien können jedoch einige Empfehlungen für die Entwicklung von Lösungsbeispielen für den eigenen Unterricht abgeleitet werden. So ist es sinnvoll, die einzelnen Teilschritte der Lösung in logischen Sinnabschnitten, getrennt voneinander darzustellen. Da die Lösungsbeispiele in der Schule in der Regel auf Papier dargeboten werden, könnte das Nacheinander der Teilschritte (in der Online-Lernumgebung durch Mausklicks) durch mehrmaliges Umknicken eines Blattes (ähnlich dem Einsatz gestufter Hilfen) oder durch den Abdruck der Schritte auf mehreren Seiten erreicht werden. Dies ermöglicht es den Lernenden zunächst einen Teilschritt zu verstehen und zu verinnerlichen, bevor sie zum nächsten übergehen. Auch empfiehlt es sich einen Kasten auf den Seiten einzufügen, in den die Lernenden eine Selbsterklärung zu dem gezeigten Schritt schreiben sollen. Dies regt nicht nur das aktive Denken an, sondern kann der Lehrkraft gleichzeitig als Verstehenskontrolle dienen. Weiterhin zeigt sich, dass sich die Anzahl an gemachten Selbsterklärungen positiv auf den Lernerfolg auswirkt (vgl. Stark, 1999). Als weitere Unterstützungsmaßnahme können integrierte instruktionale Erklärungen angeboten werden. Diese können direkt mit dem Lösungsschritt oder aber auf einer Zwischenseite (z. B. ebenfalls durch Umknicken) abgedruckt werden. Auf diese Weise lässt sich beispielsweise, in Anlehnung an Abbildung VIII.1, ein stöchiometrisches Lösungsbeispiel zur Errechnung von Molmassen in der Klassenstufe 8/9 entwickeln. Auch können die von Maier-Richter entwickelten Beispiele (leicht adaptiert) für Oberstufenschüler genutzt werden. Für die Sicherung des

Lernerfolgs und die Transferfähigkeit des Wissens sollten mindestens zwei (besser drei) Lösungsbeispiele zu einem Problem geboten werden. Am Ende einer Lernsequenz sollte eine Übungssequenz (Übungsbeispiele) mit Lernkontrolle folgen.

2. Heuristische Lösungsbeispiele zum Erwerb von Konzepten

Schaut man in den Kernlehrplan der Sekundarstufe I in Nordrhein-Westfalen, so stellt man fest, dass der stöchiometrische (algorithmische) Teil nur einen geringen Prozentsatz einnimmt. Hauptsächlich geht es um das Erlernen chemischer Konzepte, wie beispielsweise dem Verständnis des Periodensystems der Elemente oder dem Verstehen verschiedener Modelle. Nicht immer lassen sich hier Experimente in den Unterricht integrieren. Es stellt sich somit die Frage, inwiefern Lösungsbeispiele sich eignen, nicht nur experimentelle Kompetenzen oder stöchiometrische Rechnungen, sondern auch andere fachliche Kompetenzen – genauer die Aneignung chemischer Konzepte zu fördern.

Wie bei den Lösungsbeispielen zur Förderung von experimentellen Kompetenzen handelt es sich auch hier um heuristische Lösungsbeispiele. Erste Hinweise auf die Eignung dieser Art von Lösungsbeispielen finden sich für das Fach Chemie bei Kölbach (2011). Die vorliegende Studie beschäftigte sich mit dem Einfluss von kontextorientierten Inhalten auf das Interesse und die Lernleistung von Schülerinnen und Schülern der Jahrgangsstufe 9. Inhaltlicher Fokus waren der Aufbau von Salzen und der Lösungsprozess in Wasser sowie die Struktur von Wassermolekülen und die daraus resultierenden Anomalien des Wassers. Diese fachlichen Inhalte wurden durch Lösungsbeispiele vermittelt, welche die Inhalte in jeweils einem anderen Themenbezug behandelten. Die Schülerinnen und Schüler lernten pro Tag mit jeweils zwei Lösungsbeispielen zu einem Inhaltsbereich (Salze oder Wasser). Die Lösungsbeispiele waren auch hier klassisch aufgebaut: Im Anschluss an eine Problemstellung folgten logisch gegliederte Zwischenschritte (einzeln auf unterschiedlichen Seiten gedruckt) und am Ende die Lösung des Problems. Das komplette Lösungsbeispiel kann dem Anhang entnommen werden.

Ein Vor- und Nachtest zeigte, dass die Lernenden unabhängig vom jeweiligen Kontext einen überzufälligen Lernzuwachs aufwiesen, der auch zwei Monate nach dem Arbeiten mit den Lösungsbeispielen noch Bestand hatte. Zudem gaben die Schülerinnen und Schüler an, dass sie gerne mit den Aufgaben lernten und ihren Lernerfolg durch das Lernen mit den Aufgaben als besonders hoch einstufen. Diese Befunde belegen, dass sich der *Worked-Example-Effect* auch für konzeptuelles Lernen von Chemie in der Mittelstufe zeigen lässt. Sicherlich ist auch hier zu berücksichtigen, dass es aufgrund des anderen Fokus der Studie keine Kontrollgruppe gab, welche beispielsweise mit einem Schulbuch dieselben Inhalte gelernt hat. Eine an das Projekt angelehnte Examensarbeit (Pupkowski, 2011) konnte jedoch zeigen, dass Schülerinnen und Schüler das Lernen mit Lösungsbeispielen dem Lernen mit Schulbuchtexten im Vergleich vorzogen. Ebenso deutete sich auch ein höherer Lernerfolg zugunsten der Lösungsbeispiele an. Lösungsbeispiele bieten sich somit trotz obiger Einschränkungen auch für das Erlernen von Konzepten an, da sie Wissen vermitteln und von den Lernenden als motivierend und lernförderlich eingestuft werden.

Grundsätzlich unterscheidet sich diese Art von Lösungsbeispielen im Aufbau nicht von den algorithmischen, sodass in Kapitel V genannte Empfehlungen zur Gestaltung auch hier zutreffen. Vor allem die optische Trennung der Lösung in logische Teilschritte kann den Lernerfolg begünstigen. Dies kann durch die folgende Aussage einer Schülerin belegt werden: „Dass das Stückchen für Stückchen gemacht wurde, fand ich besser, weil ich das so besser verstanden habe [...], weil auf jeden Lösungsschritt genauer eingegangen wurde“ (Kölbach, 2011, S. 69).

Im Gegensatz zu algorithmischen Aufgaben, bei denen Struktur und Abfolge durch die einzelnen Rechenschritte mehr oder weniger vorgegeben sind, ist dies bei konzeptbezogenen Lösungsbeispielen nicht der Fall. Je nach Vorwissen der Lernenden kann ein Konzept sehr kleinschrittig oder aber recht zügig erklärt werden. Hilfreich ist es, wenn man sich zuvor überlegt, welche einzelnen Teilschritte den Lernenden erklärt werden müssen, damit sie das Konzept verstehen, beispielsweise den Löseprozess eines Salzes in Wasser, und auf weitere Beispiele anwenden können. So liegt es im Ermessen der Lehrperson, ob das Lösungsbeispiel lediglich auf die einzelnen Schritte fokussiert, die sich im Wasser abspielen (z. B. Einstreuen eines Salzes in Wasser, Hydratisieren von Anionen und Kationen durch die Wassermoleküle, (plus energetische Prozesse)) oder ob zusätzlich auf die Strukturen von Salzen (Aufbau aus Ionen, evtl. auch Ionenbildung, Anordnung im Ionengitter) eingegangen werden soll. Weiterhin sollte die Integration von Bild und Text (vgl. Kapitel V) beachtet werden. Ein Unterschied zu algorithmischen Lösungsbeispielen ist die (oftmals sehr große) Textfülle. Als Strukturierungshilfe bietet sich der Einbau von impliziten (einige Beispiele siehe Tabelle VIII.1) oder expliziten Impulsen an, welche die Auseinandersetzung mit der Aufgabe (Beispielelaboration) anregen und/oder auf bestimmte wichtige Informationen hinlenken. Während implizite Impulse zumeist als sprachliche oder stilistische Elemente im Text eingebunden sind (z. B. Definitionen), sind explizite Impulse als Aufforderungen zu verstehen, welche an, über oder unter einem Lösungsabschnitt auftauchen und konkrete Forderungen an den Lernenden stellen (z. B. „Überlege, wo du das Konzept in der Chemie bereits in einem anderen Zusammenhang kennengelernt hast!“). Auch das Hervorheben von wichtigen Wörtern/Textpassagen (Signaling) oder das Einfügen von Bildern kann dies unterstützen. Um die Lernbelastung möglichst gering zu halten, sollte außerdem auf die Darstellung unnötiger Informationen verzichtet werden.

Tabelle VIII.1:
Beispiele für implizite
Impulse zur Strukturierung
und Förderung der
Beispielelaboration

„Impulsart“	Umsetzungsbeispiel im Text
<i>Zielführungen:</i>	„Wir halten fest: Die Struktur von Wassermolekülen beeinflusst deren Verhalten.“
<i>Definitionen:</i>	„Alle Lösungen, die einen pH-Wert von 7 haben, bezeichnet man als neutral.“
<i>Personalisierungen:</i>	„Aus der Schule weißt du vielleicht schon, dass der stabilste Zustand der Atome die Edelgaskonfiguration ist.“ (ein Laborant erklärt)

Die Wirkung der impliziten Impulse konnte durch Schülerrückmeldungen belegt werden. So sagte eine Schülerin nach der Bearbeitung der Lösungsbeispiele, dass die Texte vor allem durch die Personalisierungen verständlich wurden („Dass halt der Prüfer [Personalisierung] das denen so erklären will, damit die das auch verstehen [...], weil oftmals verstehen die Leute das/oder die Schüler das in solchen Texten nicht mit den ganzen chemischen Wörtern [...])“ (Kölbach, 2011, S. 69)).

3. Fazit

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Lösungsbeispiele sich ebenfalls zum Erlernen von stöchiometrischen Fachinhalten sowie zum Erlernen von Fachkonzepten eignen und die Lernenden das Lernen mit diesem Format schätzen. Um das Lernen mit den Aufgaben jedoch zusätzlich zu fördern, sollte neben der Beachtung der allgemeinen Gestaltungsprinzipien (siehe Kapitel V), vor allem die Auseinandersetzung mit den Inhalten der Texte (Beispielelaboration) durch den Einbau von impliziten oder expliziten Impulsen angeregt werden.

Literatur

- AAAS – American Association for the Advancement of Science (Hrsg.). (1993). *Benchmarks for Scientific Literacy*. Washington, D.C.: American Association for the Advancement of Science.
- Atkinson, R. K., Derry, S. J., Renkl, A. & Wortham, D. (2000). Learning from Examples: Instructional Principles from the Worked Examples Research. *Review of Educational Research*, 70 (2), 181–214.
- Aufschnaiter, C. von & Aufschnaiter, S. von (2001). Eine neue Aufgabenkultur für den Physikunterricht. Was fachdidaktische Lernprozess-Forschung zur Entwicklung von Aufgaben beitragen kann. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 54 (7), 409–416.
- Ayres, P. & Paas, F. G. W. C. (2009). Interdisciplinary Perspectives Inspiring a New Generation of Cognitive Load Research. *Educational Psychology Review*, 21 (1), 1–9.
- Barke, H.-D. & Harsch, G. (2011). *Chemiedidaktik kompakt: Lernprozesse in Theorie und Praxis*. Heidelberg, Dordrecht, London, New York: Springer.
- Baumert, J. (2002). Deutschland im internationalen Bildungsvergleich. In N. Killius (Hrsg.), *Die Zukunft der Bildung* (S. 100–150). Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Bell, R. L., Smetana, L., & Binns, I. (2005). Simplifying Inquiry Instruction: Assessing the Inquiry Level of Classroom Activities. *The Science Teacher*, 72 (7), 30–33.
- Chi, M. T. H., de Leeuw, N., Chiu, M.-H. & Lavancher, C. (1994). Eliciting Self-Explanations Improves Understanding. *Cognitive Science*, 18 (3), 439–477.
- Cooper, G. & Sweller, J. (1987). Effects of schema acquisition and rule automation on mathematical problem-solving transfer. *Journal of Educational Psychology*, 79 (4), 347–362.
- Emden, M. (2011). *Prozessorientierte Leistungsmessung des naturwissenschaftlich-experimentellen Arbeitens: Eine vergleichende Studie zu Diagnoseinstrumenten zu Beginn der Sekundarstufe I*. Berlin: Logos.
- Emden, M. & Sumfleth, E. (2012). Prozessorientierte Leistungsbewertung des experimentellen Arbeitens – Zur Eignung einer Protokollmethode zur Bewertung von Experimentierprozessen. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 65 (2), 68–75.
- Ericsson, K. A. & Smith, J. (1991). *Toward a general theory of expertise*. New York: Cambridge University Press.
- Fechner, S. (2009). *Effects of context oriented learning on student interest and achievement in chemistry education*. Berlin: Logos.
- Fletcher, J. D. & Tobias, S. (2005). The Multimedia Principle. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 117–134). Cambridge: Cambridge University Press.
- Franke-Braun, G., Schmidt-Weigand, F., Stäudel, L. & Wodzinski, R. (2008). Aufgaben mit gestuften Lernhilfen: Ein besonderes Aufgabenformat zur kognitiven Aktivierung der Schülerinnen und Schüler und zur Intensivierung der sachbezogenen Kommunikation. In Kasseler Forschergruppe (Hrsg.), *Lernumgebungen auf dem Prüfstand. Zwischenergebnisse aus den Forschungsprojekten* (S. 27–42). Kassel: Kassel University Press.
- Gerjets, P., Scheiter, K. & Schuh, J. (2008). Information comparisons in example-based hypermedia environments: supporting learners with processing prompts and an interactive comparison tool. *Educational Technology Research and Development*, 56 (1), 73–92.
- Gick, M. & Holyoak, K. J. (1987). The cognitive basis of knowledge transfer. In S. M. Cormier & J. D. Hagman (Hrsg.), *Transfer of learning. Contemporary research and applications* (S. 9–42). San Diego: Academic Press.
- Hasselhorn, M. & Labuhn, A. S. (2008). Metakognition und selbstreguliertes Lernen. In W. Schneider & M. Hasselhorn (Hrsg.), *Handbuch der Pädagogischen Psychologie* (S. 28–37). Göttingen: Hogrefe.

- Herron, M. D. (1971). The Nature of Scientific Enquiry. *The School Review*, 79 (2), 171–212.
- Hübinger, R., Emden, M. & Sumfleth, E. (2009). „Mein Körper und ich auf Weltreise & Wasser – die vielen Gesichter eines Stoffes.“ *Materialien für den naturwissenschaftlichen Unterricht für die Klassen 5/6*. Berlin: Schering Stiftung.
- Johnson, D. W. & Johnson, R. T. (2008). Wie kooperatives Lernen funktioniert: Über die Elemente einer pädagogischen Erfolgsgeschichte. *Friedrich Jahresheft*, 28, 16–20.
- Kalyuga, S. & Renkl, A. (2010). Expertise reversal effect and its instructional implications: introduction to the special issue. *Instructional Science*, 38 (3), 209–215.
- Klieme, E., Funke, J., Leutner, D., Reimann, P. & Wirth, J. (2001). Problemlösen als fächerübergreifende Kompetenz – Konzeption und erste Resultate aus einer Schulleistungsstudie. *Zeitschrift für Pädagogik*, 47 (2), 179–200.
- Klos, S., Henke, C., Kieren, C., Walpuski, M. & Sumfleth, E. (2008). Naturwissenschaftliches Experimentieren und chemisches Fachwissen – zwei verschiedene Kompetenzen. *Zeitschrift für Pädagogik*, 54 (3), 304–321.
- KMK – Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.). (2005a). *Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss. Beschluss vom 16.12.2004*. München: Luchterhand.
- KMK – Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.). (2005b). *Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss. Beschluss vom 16.12.2004*. München: Luchterhand.
- KMK – Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.). (2005c). *Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss. Beschluss vom 16.12.2004*. München: Luchterhand.
- Koenen, J. (2014). *Entwicklung und Evaluation von experiment unterstützten Lösungsbeispielen zur Förderung naturwissenschaftlich-experimenteller Arbeitsweisen*. Berlin: Logos.
- Kölbach, E. (2011). *Kontexteinflüsse beim Lernen mit Lösungsbeispielen*. Berlin: Logos.
- Lederman, N. G. (2007). Nature of Science: Past, Present, and Future. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Hrsg.), *Handbook of Research on Science Education* (S. 831–879). Mahwah, NJ, London: Erlbaum.
- LeFevre, J. A. & Dixon, P. (1986). Do written instructions need examples? *Cognition and Instruction*, 3 (1), 1–30.
- Leslie, K. C., Low, R., Jin, P. & Sweller, J. (2012). Redundancy and expertise reversal effects when using educational technology to learn primary school science. *Educational Technology Research and Development*, 60 (1), 1–13.
- Lunetta, V. N. (1998). The School Science Laboratory: Historical Perspectives and Contexts for Contemporary Teaching. In B. J. Fraser & K. G. Tobin (Hrsg.), *International Handbook of Science Education* (S. 249–262). Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers.
- Lunetta, V. N., Hofstein, A., & Clough, M. P. (2007). Learning and Teaching in the School Science Laboratory: An Analysis of Research, Theory, and Practice. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Hrsg.), *Handbook of Research on Science Education* (S. 393–441). Mahwah, NJ, London: Erlbaum.
- Mackensen-Friedrichs, I. (2004). *Förderung des Expertiseerwerbs durch das Lernen mit Beispielaufgaben im Biologieunterricht der Klasse 9*. Dissertation, Christian Albrechts-Universität Kiel.
- Maier-Richter, A. (2005). *Computerunterstütztes Lernen mit Lösungsbeispielen in der Chemie. Eine Evaluationsstudie im Themenbereich Löslichkeit*. Berlin: Logos.
- Marschner, J., Thillmann, H., Wirth, J. & Leutner, D. (2012). Wie lässt sich die Experimentierstrategie-Nutzung fördern? Ein Vergleich verschieden gestalteter Prompts. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaften*, 15 (1), 77–93.
- Mayer, R. E. (2005a). Principles for Managing Essential Processing in Multimedia Learning: Segmenting, Pretraining, and Modality Principles. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The*

- Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 169–182). Cambridge: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2005b). Principles for Reducing Extraneous Processing in Multimedia Learning: Coherence, Signaling, Redundancy, Spatial Contiguity, and Temporal Contiguity Principles. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 183–200). Cambridge: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (Hrsg.). (2005c). *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia Learning* (2. Aufl.). Cambridge: Cambridge University Press.
- Miller, G. A. (1956). The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on our Capacity for Processing Information. *Psychological Review*, 63 (2), 81–97.
- Narciss, S. (2006). *Informatives tutorielles Feedback: Entwicklungs- und Evaluationsprinzipien auf der Basis instruktionspsychologischer Erkenntnisse*. Münster: Waxmann.
- Nentwig, P. M., Demuth, R., Parchmann, I., Gräsel, C. & Ralle, B. (2007). Chemie im Kontext: Situating Learning in Relevant Contexts while Systematically Developing Basic Chemical Concepts. *Journal of Chemical Education*, 84 (9), 14–39.
- Neumann, I. (2011). *Beyond Physics Content Knowledge: Modelling Competence Regarding Nature of Scientific Inquiry and Nature of Scientific Knowledge*. Berlin: Logos.
- Neumann, I. & Kremer, K. (2013). Nature of Science und epistemologische Überzeugungen: Ähnlichkeiten und Unterschiede. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 19, 209–232.
- Nokes, T. J., Hausmann, Robert G. M., VanLehn, K. & Gershman, S. (2011). Testing the instructional fit hypothesis: The case of self-explanation prompts. *Instructional Science*, 39 (5), 645–666.
- NRC – National Research Council (Hrsg.). (2011). *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. Washington, D.C.: National Academy Press.
- Paas, F., Renkl, A. & Sweller, J. (2003). Cognitive Load Theory and Instructional Design: Recent Developments. *Educational Psychology*, 38 (1), 1–4.
- Paas, F. G. W. C. & van Merriënboer, J. J. G. (1993). Instructional Control of Cognitive Load in the Training of Complex Cognitive Tasks. In F. G. W. C. Paas (Hrsg.), *Instructional Control of Cognitive Load in the Training of Complex Cognitive Tasks* (S. 11–30). Den Haag: CIP-DATA Koninklijke Bibliotheek.
- Paas, F. G. W. C. & van Merriënboer, J. J. G. (1994). Instructional Control of Cognitive Load in the Training of Complex Cognitive Tasks. *Educational Psychology Review*, 6 (4), 351–371.
- Pupkowski, V. (2011). *Vergleich von inhaltsgleichen Texten und Beispielaufgaben in Chemie*. Examensarbeit in der Chemiedidaktik, Universität Duisburg-Essen.
- Quilici, J. L. & Mayer, R. E. (1996). Role of examples in how students learn to categorize statistics word problems. *Journal of Educational Psychology*, 88 (1), 144–161.
- Reimann, P. (1997). *Lernprozesse beim Wissenserwerb aus Beispielen. Analyse, Modellierung, Förderung*. Bern [u.a.]: Huber.
- Renkl, A., Atkinson, R. K., Maier, U. H. & Staley, R. (2002). From Example Study to Problem Solving: Smooth Transitions Help Learning. *The Journal of Experimental Education*, 70 (4), 293–315.
- Renkl, A. (2005). The Worked-out Examples Principle in Multimedia Learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 229–246). Cambridge [u.a.]: Cambridge University Press.
- Renkl, A., Atkinson, R. K. & Maier, U. H. (2000). From Studying Examples to Solving Problems: Fading Worked-Out Solution Steps Helps Learning. In L. R. Gleitman & A. K. Joshi (Hrsg.), *Proceedings of the Twenty-Second Annual Conference of the Cognitive Science Society* (S. 393–398). Erlbaum.
- Renkl, A., Gruber, H., Weber, S., Lerche, T. & Schweizer, K. (2003). *Cognitive Load beim Lernen aus Lösungsbeispielen. Forschungsbericht Nr. 4*. Regensburg.

- Renkl, A., Hilbert, T. & Schworm, S. (2009). Example-Based Learning in Heuristic Domains: A Cognitive Load Theory Account. *Educational Psychology Review*, 21 (1), 67–78.
- Ross, B. H. (1987). This Is Like That: The Use of Earlier Problems and the Separation of Similarity Effects. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 13 (4), 629–639.
- Rourke, A. & Sweller, J. (2009). The worked-example effect using ill-defined problems: Learning to recognise designers' styles. *Learning and Instruction*, 19 (2), 185–199.
- Rudolph, J. L. (2005). Epistemology for the Masses: The Origins of "the Scientific Method" in American Schools. *History of Education Quarterly*, 45 (3), 342–376.
- Schauble, L., Klopfer, L. E. & Raghavan, K. (1991). Students' Transition from an Engineering Model to a Science Model of Experimentation. *Journal of Research in Science Teaching*, 28 (9), 859–882.
- Schüßler, K., Emden, M. & Sumfleth, E. (2016). *Lösungsbeispiele zu Inhalten des Chemieunterrichts der Sekundarstufe I*. Online unter: https://www.uni-due.de/chemie/didaktik/09_sonstiges_downloads_loesungsbeispiele.php
- Schwonke, R., Renkl, A., Krieg, C., Wittwer, J., Aleven, V. & Salden, R. (2009). The worked-example effect: Not an artefact of lousy control conditions. *Computers in Human Behavior*, 25 (2), 258–266.
- Seilnacht, T. (o.J.). Der Gebrauch seifenähnlicher Produkte im Altertum. Zugriff am 25.06.2015 unter <http://www.seilnacht.com/waschm/seife2.html>
- Sumfleth, E., Rumann, S. & Nicolai, N. (2004). Kooperatives Arbeiten im Chemieunterricht – Gemeinsames Arbeiten in kleinen Gruppen und mit Eltern. *Essener Unika-te*, 24, 74–85.
- Stark, R. (1999). *Lernen mit Lösungsbeispielen: Einfluß unvollständiger Lösungsbeispiele auf Beispielelaboration, Lernerfolg und Motivation*. Göttingen [u.a.]: Hogrefe.
- Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning and Instruction*, 4 (4), 295–312.
- Sweller, J., Ayres, P. & Kalyuga, S. (2011). *Cognitive Load Theory*. New York: Springer.
- Sweller, J. & Chandler, P. (1994). Why Some Material Is Difficult to Learn. *Cognition and Instruction*, 12 (3), 185–233.
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G. & Paas, F. G. W. C. (1998). Cognitive Architecture and Instructional Design. *Educational Psychology Review*, 10 (3), 251–296.
- Tesch, M. & Duit, R. (2004). Experimentieren im Physikunterricht – Ergebnisse einer Videostudie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 10, 51–69.
- Trafton, J. G. & Reiser, B. J. (1993). The Contributions of Studying Examples and Solving Problems to Skill Acquisition. In M. Poison (Hrsg.), *Proceedings of the Fifteenth Annual Conference – The Cognitive Science Society* (S. 1017–1022). Hillsdale: Erlbaum.
- Van Saan, A. (2008). *101 Experimente mit Wasser*. Kempen: Moses.
- Wahser, I. (2007). *Training von naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen zur Unterstützung experimenteller Kleingruppenarbeit im Fach Chemie*. Berlin: Logos.
- Walpuski, M. (2006). *Optimierung von experimenteller Kleingruppenarbeit durch Strukturierungshilfen und Feedback*. Berlin: Logos.
- Ward, M. & Sweller, J. (1990). Structuring Effective Worked Examples. *Cognition and Instruction*, 7 (1), 1–39.
- Wirth, J., Thillmann, H. & Künsting, J. (2008). Das Schülerexperiment im naturwissenschaftlichen Unterricht. Bedingungen der Lernförderlichkeit einer verbreiteten Lehrmethode aus instruktionspsychologischer Sicht. *Zeitschrift für Pädagogik*, 54 (3), 361–375.

Anhang

Training naturwissenschaftlich-experimenteller Arbeitsweisen.....	74
Checkliste zur Optimierung von multimedialen Arbeitsblättern	75
Arbeitsblatt: Chromatographie (vor der Überarbeitung).....	76
Arbeitsblatt: Chromatographie (nach der Überarbeitung)	77
Übersicht Experimentierboxen	78
Materialien für die Experimentierboxen	79
Aufgabenstellungen für die Experimentierboxen.....	81
Lösungsbeispiel – naturwissenschaftlich-experimentelles Arbeiten + Stofftrennung	84
Lösungsbeispiel – naturwissenschaftlich-experimentelles Arbeiten + Dichte	89
Lösungsbeispiel – naturwissenschaftlich-experimentelles Arbeiten + Oberflächenspannung	95
Lösungsbeispiel – Kaliumpermanganat-Versuch	101

Training naturwissenschaftlich-experimenteller Arbeitsweisen

Die Materialien zur Förderung naturwissenschaftlich-experimenteller Arbeitsweisen stehen in Form eines Trainings kostenlos auf der Homepage der Chemiedidaktik der Universität Duisburg-Essen zur Verfügung. Sie sind in Unterrichtsmaterialien zu den Themen ‚Mein Körper und ich auf Weltreise‘ und ‚Wasser – die vielen Gesichter eines Stoffes‘ eingebettet. Detaillierte Informationen können dem entsprechenden Lehrerband entnommen werden.

a) Mein Körper und ich auf Weltreise

https://www.uni-due.de/chemiedidaktik/09_sonstiges_downloads_weltreisen.shtml

b) Wasser – die vielen Gesichter eines Stoffes

https://www.uni-due.de/chemiedidaktik/09_sonstiges_downloads_wassergesicht.shtml

Quellenangaben:

Lehrerband:

Hübinger, R., Emden, M., & Sumfleth, E. (2009). *„Mein Körper und ich auf Weltreise & Wasser – die vielen Gesichter eines Stoffes.“ Materialien für den naturwissenschaftlichen Unterricht für die Klassen 5/6.* Berlin: Schering Stiftung.

Bausteine:

Hübinger, R. & Sumfleth, E. (2009). *„Baustein A – Wetter in anderen Regionen der Welt.“ Materialien für den naturwissenschaftlichen Unterricht für die Klassen 5/6.* Berlin: Schering Stiftung.

Hübinger, R. & Sumfleth, E. (2009). *„Baustein B – Temperaturmessung; Baustein C – Energie und Körper.“ Materialien für den naturwissenschaftlichen Unterricht für die Klassen 5/6.* Berlin: Schering Stiftung.

Hübinger, R. & Sumfleth, E. (2009). *„Baustein D – Auswahl des Reiseproviant; Baustein E – Nährstoffe.“ Materialien für den naturwissenschaftlichen Unterricht für die Klassen 5/6.* Berlin: Schering Stiftung.

Emden, M. & Sumfleth, E. (2009). *„Baustein F – Steckbrief Wasser.“ Materialien für den naturwissenschaftlichen Unterricht für die Klassen 5/6.* Berlin: Schering Stiftung.

Emden, M. & Sumfleth, E. (2009). *„Baustein G – Lebensraum Wasser.“ Materialien für den naturwissenschaftlichen Unterricht für die Klassen 5/6.* Berlin: Schering Stiftung.

Emden, N. & Sumfleth, E. (2009). *„Baustein H – Rohstoff Wasser.“ Materialien für den naturwissenschaftlichen Unterricht für die Klassen 5/6.* Berlin: Schering Stiftung.

Datum:	Checkliste zur Optimierung von multimedialen Arbeitsblättern	Arbeitsblatt:
Klasse:		

	+	0	–	Mögliche Konsequenzen
Multimediaprinzip				
(1) Sind auf den Inhalt bezogene Abbildungen vorhanden?				0: Abb. prüfen auf Alternativen –: Abbildungen entfernen
(2) Sind Abbildungen bekannt, die auf den Inhalt bezogen werden können?				+: Abbildungen einbinden 0: ggf. neue Abb. recherchieren
Kohärenzprinzip				
(3) Sind Text- und Bildinformation aufeinander bezogen?				0: Bezüge deutlicher herstellen, Information ggf. tilgen –: Bezüge herstellen/Information tilgen (<i>seductive detail</i>)
(4) Gibt es unnötige/ablenkende Information in Text- oder Bildform? (<i>seductive detail</i>)				+: Ablenkende/unnötige Information tilgen 0: Information prüfen, ggf. tilgen
Prinzip der räumlichen Nähe				
(5) Stehen aufeinander bezogene Bild- und Textinformation dicht beieinander?				0: Räumliche Nähe deutlicher herstellen –: Räumliche Nähe herstellen
(6) Sind Bildinformationen durch erläuternde Einträge im Bild ergänzt? (<i>split attention</i>)				0: Möglichkeit f. bessere Integration prüfen/ergänzen –: Legende anlegen / in Abbildung hineinschreiben
Signalgeberprinzip				
(7) Ist der Arbeitstext in Sinneinheiten gegliedert?				0: Gliederung ausschärfen –: Gliederung vornehmen
(8) Sind die Gliederungsebenen mit sinnvollen Überschriften versehen?				0: Überschriften an eigene SuS anpassen –: Überschriften ergänzen
(9) Sind wichtige Fachbegriffe und/oder Zusammenhänge kenntlich gemacht? (Emphase)				0: f. eigene SuS unnötige Emphase tilgen, wesentliche Emphase ergänzen; –: f. eigene SuS wesentliche Emphase ergänzen
(10) Ist der Umfang an gewählten Signalgebern überschaubar?				0: Signalgeber reduzieren –: Signalgeber neu konzipieren
Segmentierungsprinzip				
(11) Werden komplexe Abläufe in Einzelschritten dargestellt?				0: Prüfen, ob entsprechende Darstellung notwendig ist, ggf. ergänzen –: Darstellung ergänzen
Personalisierungsprinzip				
(12) Werden Lernende direkt angesprochen?				–: Man-Formulierungen → Du-Ansprachen
(13) Werden dialogische Redemittel eingesetzt?				–: Ggf. adaptieren, bei Verzicht auf Du-Ansprache

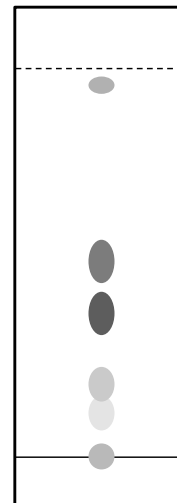
Datum:	Trennverfahren: Chromatographie	Name:
Klasse:		Aufgabe-Nr.:

Jedes Jahr im Herbst ändern die Blätter an Laubbäumen ihre Farbe von grün über verschiedene Orange- und Rottöne, bis sie schließlich von den Bäumen fallen. Doch woher kommen diese neuen Farben, die man zuvor nicht gesehen hat? Waren sie schon immer in den Blättern oder entsteht im Herbst in ihnen etwas ganz Neues?

Um diese Frage zu beantworten, kann man genauer die Farbstoffe betrachten, die im Blatt vorliegen. Man nutzt dazu ein Verfahren, das sich Chromatographie nennt (von griech. *chroma* – Farbe und *graphein* – schreiben). Bei diesem Verfahren macht man sich zwei Stoffeigenschaften zunutze. Zum einen lösen sich verschiedene Farbstoffe unterschiedlich gut in einem Lösemittel. Zum anderen haften (adsorbieren) sie unterschiedlich gut an bestimmten Oberflächen.

Deswegen werden in der Chromatographie Farbstoffgemische in einem geeigneten Lösemittel gelöst (mobile Phase), das an einer festen Oberfläche (stationäre Phase) vorbeifließt. Dabei trennen sich die einzelnen Farbstoffe voneinander: Jene, die besonders gut an der festen Oberfläche haften, aber nur wenig löslich sind im Lösemittel, bleiben dicht an der Startposition liegen. Andere, die besonders gut in der mobilen Phase löslich sind, aber nur schlecht an der stationären Phase adsorbieren, wandern weit mit. Man erhält so ein Chromatogramm, in dem die verschiedenen Farbstoffe getrennt voneinander vorliegen. Je nachdem, wie weit sie von der Startposition mitgetragen worden sind, kann man sie sogar genau identifizieren.

Damit man nun entscheiden kann, ob in grünen Blättern schon von Anfang an auch die gelben und orangen Farben enthalten sind, stellt man einen Brei aus fein mit Seesand und Ethanol verriebenen Blättern her. Dabei färbt sich das Ethanol deutlich grün. Man filtriert die Lösung und bringt ein paar Tropfen davon auf eine Chromatographieplatte (nicht vergessen die Startposition zu markieren, zum Beispiel mit einer Linie wie in der Abbildung). Dann taucht man die Platte soweit in das Lösemittel, dass die Startposition gerade noch nicht benetzt ist. Die mobile Phase zieht nun auf der Platte nach oben (Fließrichtung) und zieht dabei die besser löslichen Farbstoffe weiter mit als die schlechter löslichen. Mit einer gestrichelten Linie ist gekennzeichnet, wie hoch das Lösemittel auf der Platte gestiegen ist (Lösemittelfront). Am Ende kann man sehen, dass sich das Farbstoffgemisch in viele einzelne Farbpunkte aufgetrennt hat. In der Mitte liegt beispielsweise ein grüner Farbstoff (Chlorophyll-a), direkt darunter ist ein zweiter grüner Punkt zu erkennen (Chlorophyll-b) und am weitesten weg von Startposition liegt ein gelboranger Streifen (Carotinoide). Ganz unten finden sich Streifen einer Gruppe gelber Farbstoffe (Xantophylle).



Man kann also erkennen, dass die gelborangen Farbtönen von Anfang an im Blatt enthalten sind. Sie werden im Frühjahr und Sommer nur von den grünen Blattfarbstoffen überdeckt. Die grünen Blattfarbstoffe werden im Herbst abgebaut, sodass dann die gelborangen Farben hervorkommen können.

Datum:	Trennverfahren: Chromatographie	Name:
Klasse:		Aufgabe-Nr.:

Problemstellung

Sicher hast Du auch schon einmal bemerkt, dass jedes Jahr im Herbst die Blätter an Laubbäumen ihre Farbe von grün über verschiedene Orange- und Rottöne ändern (sowie auf dem Foto rechts), bis sie schließlich von den Bäumen fallen. Aber hast Du Dich auch schon einmal gefragt, woher diese neuen Farben kommen? Glaubst Du, sie waren sie schon immer in den Blättern? Oder denkst Du, dass im Herbst etwas ganz Neues entsteht?

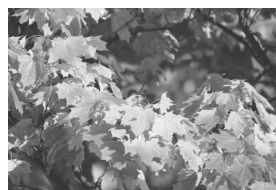


Abbildung 0.1:
Herbstlaub (Albert Bridge;
CC-BY-SA-2.0)

Grundlagen

Um diese Frage zu beantworten, kannst Du die Farbstoffe genauer betrachten, die im Blatt vorliegen. Dazu kannst Du ein Verfahren nutzen, das sich **Chromatographie** nennt. Du machst Dir bei diesem Verfahren zwei Stoffeigenschaften zunutze: (1) Die unterschiedliche Löslichkeit verschiedener Farbstoffe in einem Lösemittel, (2) die unterschiedliche Anhaftung (**Adsorption**) an bestimmten Oberflächen.

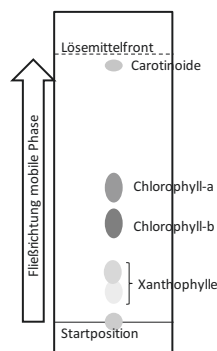
Zuerst musst Du bei einer Chromatographie Farbstoffgemische in einem geeigneten Lösemittel lösen. Diese Lösung nennt man **mobile Phase**, die danach an einer festen Oberfläche (**stationäre Phase**) vorbeifließt. Dabei trennen sich die einzelnen Farbstoffe voneinander:

- Farbstoffe, die besonders **gut adsorbieren** an der festen Oberfläche, aber nur wenig löslich sind im Lösemittel, bleiben **dicht an der Startposition** liegen.
- Farbstoffe, die besonders **gut löslich** sind in der mobilen Phase, aber nur schlecht an der stationären Phase adsorbieren, **wandern weit** mit.

Man erhält am Ende ein **Chromatogramm**, in dem die verschiedenen Farbstoffe getrennt voneinander vorliegen. Je nachdem, wie weit sie von der Startposition mitgetragen worden sind, kann man sie sogar genau identifizieren

Experimentelles Vorgehen

Damit Du selbst entscheiden kannst, ob in grünen Blättern schon von Anfang an die gelben und orangen Farben enthalten sind, musst Du zuerst einen Brei aus fein mit Seesand und Ethanol verriebenen Blättern herstellen. Dabei färbt sich das Ethanol deutlich grün. Danach filtrierst Du die Lösung und bringst ein paar Tropfen davon auf eine Chromatographieplatte (nicht vergessen die zu markieren, z. B. mit einer Linie wie in der Abbildung rechts). Als drittes tauchst Du die Platte soweit in das Lösemittel, dass die Startposition gerade noch nicht benetzt ist.



Die mobile Phase zieht nun auf der Platte nach oben (**Fließrichtung**) und zieht dabei die besser löslichen Farbstoffe weiter mit als die schlechter löslichen. Schließlich kannst Du sehen, dass sich das Farbstoffgemisch in viele einzelne Farbstreifen aufgetrennt hat. Mit einer gestrichelten Linie ist gekennzeichnet, wie hoch das Lösemittel auf der Platte gestiegen ist – diese Grenze nennt man **Lösemittelfront**. In der Mitte liegt beispielsweise ein grüner Farbstoff (Chlorophyll-a), direkt darunter ist ein zweiter grüner Punkt zu erkennen (Chlorophyll-b) und am weitesten weg von Startposition (durchgehende Linie) liegt ein gelboranger Streifen (Carotinoide). Ganz unten finden sich Streifen einer Gruppe gelber Farbstoffe (Xanthophylle).

Problemlösung

Man kann also erkennen, dass die gelborangen Farbtöne von Anfang an im Blatt enthalten sind. Sie werden im Frühjahr und Sommer nur von den grünen Blattfarbstoffen überdeckt. Die grünen Blattfarbstoffe werden im Herbst abgebaut, sodass dann die gelborangen Farben hervorkommen können.

Übersicht Experimentierboxen

Box	Lösungs- beispiel	Thema	Experiment	Kontext
1	1	Stofftrennung	Trennung verschiedener Stoffe (Sand, Erbsen, Wasser)	Peter und Lisa bekommen von ihrer Mutter ein Gefäß mit Wasser, Sand und Erbsen und sollen die Bestandteile voneinander trennen.
	2	Stofftrennung	Trennung verschiedener Stoffe (Salz, Wasser)	Welche Flüssigkeit ist in diesem Gefäß enthalten? Salzwasser oder Süßwasser?
2	3	Diffusion/ Teilchenbewegung	Eingefärbter Zuckerwürfel wird in Wasser gelöst	Warum färbt Schokomüsli Milch braun?
	4	Lösungsverhalten	Zucker, Zuckerwürfel und Kandiszucker werden unter kontrollierten Bedingungen in Wasser gelöst	Salatdressing: Welche Zuckersorte eignet sich am besten bei der Zubereitung?
3	5	Dichte	Das sinkende/schwebende Ei (Leitungswasser/Salzwasser)	Warum geht man im Toten Meer nicht unter?
	6	Dichte	Unterschiede der Dichte: Wasser/Öl/Sirup	Uromas altes Backbuch, in dem die Mengenangaben nicht mehr zu entziffern sind.
4	7	Löslichkeit	Vergleich: Wasser/Waschbenzin/Öl	Ölmalfarben: Pinsel reinigen
	8	Oberflächen- spannung	Münzen im Wasserglas	Der Wasserläufer
5	9	Oberflächen- spannung	Senken der Oberflächenspannung: Wasser/Pfeffer/Seife	Wasserverschmutzung durch eine Seifenfabrik
	10	Kapillarkräfte	Kapillarkräfte in Röhrchen mit verschiedenen Innendurchmessern	Wie funktioniert ein Füllfederhalter?

Materiallisten für die Experimentierboxen

- Box 1:**
- 1 Pulverflasche (Sand, Erbsen, Wasser)
 - 1 Plastiktrichter
 - 1 Filterpapier
 - 2 Plastikbecher
 - 1 Plastiklöffel
 - 1 Pinzette
 - 1 Plastikpipette
 - 2 Petrischalen aus Plastik
 - 5 Streichhölzer + Packung
 - 1 Uhrglas
 - 1 Teelicht
 - 1 Agraffe
 - Gefäß X mit Salzwasser
- Box 2:**
- 3 Pulverflaschen (Kristall-, Kandi-, Würfelzucker)
 - 1 Pinzette
 - 1 Pipette
 - 3 Plastikbecher
 - 1 Plastiklöffel
 - 1 Waage
 - 3 Petrischalen aus Plastik
 - 1 Plastikteller
 - 1 Blatt Papier
 - 1 Schnappdeckelglas mit Tinte
- Box 3:**
- 1 Pulverflasche mit Salz (mind. 70 g)
 - 1 Pulverflasche mit Sirup
 - 1 Tropfflasche mit Öl
 - 1 Plastiklöffel
 - 1 Waage
 - 2 Petrischalen aus Plastik
 - 1 hartgekochtes Ei
 - 4 Reagenzgläser
 - 4 Stopfen
 - 3 Plastikbecher
 - 1 Pipette
 - 1 Reagenzglasständer
- Box 4:**
- 1 Tropfflasche mit Öl
 - 1 Tropfflasche mit Waschbenzin
 - 4 Mikroreagenzgläser
 - 1 Mikroreagenzglasständer
 - 4 Plastikpipetten
 - 4 Gummistopfen
 - ca. 25 Plastikchips
 - 1 Plastikbecher
 - 1 Plastikteller
 - Gefäß mit Salzwasser
 - Pinzette
 - Büroklammer
- Box 5:**
- 1 Tropfflasche mit Spülmittel
 - 1 Pfefferstreuer
 - 1 Röhrchen Innendurchmesser: 1.6 mm

- 1 Röhrchen Innendurchmesser: 2.4 mm
- 1 Röhrchen Innendurchmesser: 4.0 mm
- 1 Röhrchen Innendurchmesser: 5.0 mm
- 1 Lineal
- 1 Plastikbecher
- 1 Plastikteller

Aufgabenstellungen für die Experimentierboxen

Box 1:

Experiment 1:

Aufgabenstellung

Lisa und Peter erhalten von ihrer Mutter einen Becher mit Sand, Erbsen und Wasser.

Ihre Aufgabe ist es nun Sand, Erbsen und Wasser wieder voneinander zu trennen.

Aufgabe: Löse die Aufgabe, die Lisa und Peter von ihrer Mutter erhalten haben.

Du kannst dazu die Sachen aus der Box benutzen. Du kannst nun beginnen.

Experiment 2:

Aufgabenstellung

Lisa und Peter haben ein Gefäß gefunden, in dem sich eine klare Flüssigkeit befindet. Das Gefäß ist mit einem X gekennzeichnet. Sie wissen nicht, was sich in dem Gefäß befindet. Ihre Mutter kann sich jedoch daran erinnern, dass es sich entweder um Leitungswasser oder um Salzwasser handelt.

Aufgabe: Wie können Lisa und Peter herausfinden, ob es sich um Salzwasser oder um Leitungswasser handelt?

Du kannst dazu die Sachen aus der Box benutzen. Du kannst nun beginnen.

Box 2:

Experiment 3:

Aufgabenstellung

Peter darf Schokopops mit Milch zum Frühstück essen. Peter schüttet eine Portion der Schokopops in eine Schüssel und gießt Milch darüber. Um die Schokopops herum bildet sich ein dünner brauner Ring. Er muss allerdings dringend noch seine Schwester wecken. Als er wiederkommt, ist die gesamte Milch braun gefärbt.

Aufgabe: Wie kann Peter herausfinden, warum die gesamte Milch nach einer gewissen Zeit gefärbt ist?

Du kannst dazu die Sachen aus der Box benutzen. Du kannst nun beginnen.

Experiment 4:

Aufgabenstellung

Lisa möchte ein Salatdressing machen. Dazu gibt sie zunächst Kandiszucker in etwas Wasser. Sie kann aber nicht erkennen, dass sich der Kandiszucker löst. Ihr Vater sagt ihr daraufhin, dass sie für das Dressing Kristallzucker verwenden sollte.

Aufgabe: Kann Lisa den Kandiszucker verwenden? Warum denkt ihr Vater, dass Kristallzucker besser geeignet ist?

Du kannst dazu die Sachen aus der Box benutzen. Du kannst nun beginnen.

Box 3:

Experiment 5:

Aufgabenstellung

Lisa und Peter blättern die Zeitung durch. Ihnen fällt das Foto eines Mannes auf, der im Toten Meer zu sitzen scheint und Zeitung liest. Sie fragen sich, ob das Foto eine Fälschung ist oder nicht. Denn sie selbst gehen im Wasser immer unter, wenn sie sich nicht bewegen.



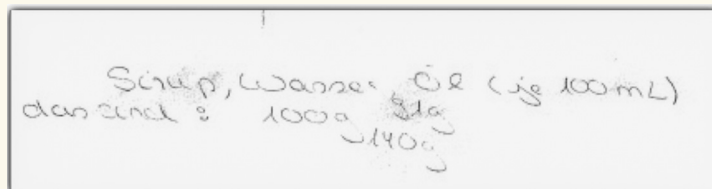
(Ranveig Thattai, CC BY-SA 3.0)

Aufgabe: Finde heraus, ob es sich bei dem Foto um eine Fälschung handelt oder nicht? Du kannst dazu die Sachen aus der Box benutzen. Du kannst nun beginnen.

Experiment 6:

Aufgabenstellung

Lisa und Peter möchten einen Kuchen backen und benutzen dafür ein altes Rezept. Leider können sie nicht mehr erkennen, welche Masse zu welcher der drei Hauptzutaten gehört. Die drei Hauptzutaten sind: Sirup, Wasser und Öl. Lisa und Peter wissen nur, dass sie von jeder Zutat 100 mL benötigen. Da ihr Messbecher kaputt ist, können sie diese aber nicht abmessen.



Aufgabe: Finde heraus, welche Massenangabe zu welcher Zutat gehört. Du kannst dazu die Sachen aus der Box benutzen. Du kannst nun beginnen.

Box 4:

Experiment 7:

Aufgabenstellung

Lisa und Peter malen mit Ölfarben. Sie müssen anschließend die Pinsel sauber machen. Sie versuchen die Pinsel mit warmem Wasser auszuspülen. Dies funktioniert allerdings nicht.

Aufgabe: Finde heraus, womit die Pinsel gereinigt werden können. Du kannst dazu die Sachen aus der Box benutzen. Du kannst nun beginnen.

Experiment 8:

Aufgabenstellung

Lisa und Peter sind an einem Badensee. Sie entdecken auf der Wasseroberfläche einige seltsame Tiere. Diese laufen auf der Wasseroberfläche, ohne dabei unterzugehen.



(Katja Schulz, CC BY 2.0)

Aufgabe: Finde heraus, wieso die Wasserläufer auf der Wasseroberfläche laufen können. Du kannst dazu die Sachen aus der Box benutzen. Du kannst nun beginnen.

Box 5:

Experiment 9:

Aufgabenstellung

Lisa und Peter beobachten wieder Wasserläufer. Auf einmal sehen sie, dass innerhalb von kurzer Zeit viele Wasserläufer untergehen oder sich durch einen Sprung ans Ufer retten.



(Katja Schulz, CC BY 2.0)



Aufgabe: Finde heraus, welche Massenangabe zu welcher Zutat gehört. Du kannst dazu die Sachen aus der Box benutzen. Du kannst nun beginnen.

Experiment 10:

Aufgabenstellung

Lisa und Peter haben jeder einen Füllfederhalter geschenkt bekommen. Dabei handelt es sich um Federhalter, die man in ein Tintenfass tauchen muss, bevor man mit ihnen schreiben kann. Während die beiden schreiben, bemerken sie, dass sie ihre Federhalter unterschiedlich oft in das Tintenfass eintauchen müssen.



(Lothar Spurzem, CC BY-SA 2.0 de)

Aufgabe: Finde heraus, wie die Tinte von dem Fass in den Füller gelangt und warum sie dort nicht wieder herausläuft. Du kannst dazu die Sachen aus der Box benutzen. Du kannst nun beginnen.

Wasser oder Salzwasser?

Lisa und Peter finden in der Küche ein Gefäß, in dem sich eine klare Flüssigkeit befindet. Auf dem Gefäß ist ein **X** als Beschriftung aufgetragen.

„Mama, was ist das?“, fragt Lisa. Ihre Mutter schaut sich das Gefäß mit der Flüssigkeit an und sagt: „Ich kann mich nicht daran erinnern. Das ist entweder Leitungswasser oder Salzwasser.“



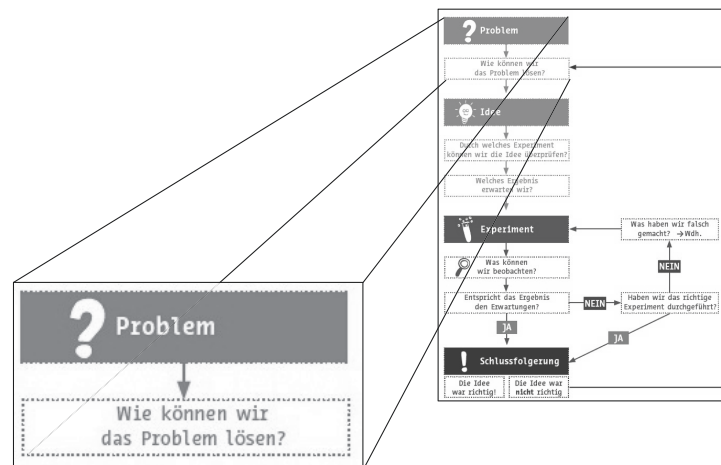
Peter: „Lisa, dann lass und doch herausfinden, was das **X** bedeutet.“



Erläutere, wieso es Lisa und Peter helfen kann die Situation zu beschreiben.

Peter und Lisa müssen sich, wenn sie ein Problem haben, zunächst überlegen, worin ihr Problem genau besteht.

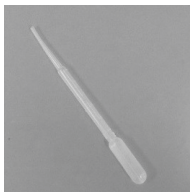
Sie müssen sich des Problems bewusst sein und es klar, eindeutig und genau beschreiben. Erst wenn sie das gemacht haben, können sie sich Gedanken darüber machen, wie sie das Problem eigentlich lösen können.



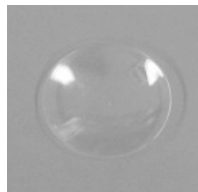
Lisa und Peter setzen sich nochmal mit der Situation auseinander und versuchen ihr Problem klar zu beschreiben.

Lisa und Peter beschreiben ihr Problem wie folgt: „Wir haben ein Gefäß, in dem eine klare Flüssigkeit ist. Wir müssen herausfinden, ob das Salzwasser oder Leitungswasser ist.“

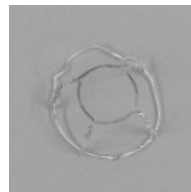
Lisa und Peter wissen im Moment noch nicht so richtig, wie sie dabei vorgehen sollen. Deshalb fragen sie ihre Mutter um Rat. Ihre Mutter gibt ihnen folgende Dinge: eine Plastikpipette, Streichhölzer und einen Bausatz für einen Brenner. Dieser besteht aus einem Teelicht, einem Uhrglas und einem Drahtkörbchen.



Plastikpipette



Uhrglas



Drahtkörbchen

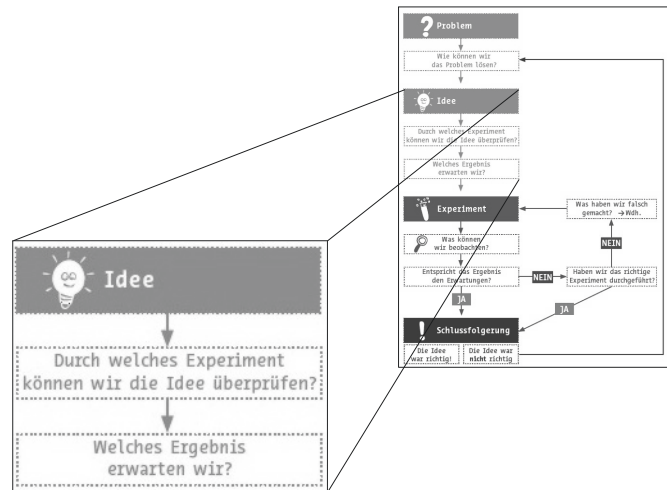
Die Mutter sagt: „Versucht doch einmal, mit Hilfe dieser Sachen euer Problem zu lösen. Beachtet aber bitte, dass es gefährlich ist Plastik zu erhitzen. Außerdem kann man heißes Glas vom Aussehen her nicht von kaltem Glas unterscheiden! Fasst bitte das Glas nicht mit den Händen an.“



Entscheide, über welche Punkte (maximal 3) Lisa und Peter sich Gedanken machen müssen, wenn sie einen Vorschlag entwickeln.

Um das Problem lösen zu können, müssen Lisa und Peter sich zunächst Gedanken über eine Idee machen, die zur Lösung des Problems führen kann.

Wenn sie eine Idee gefunden haben, können sie sich Gedanken darüber machen, mit **welchem Experiment sie ihre Idee überprüfen** können. Sie müssen also nach einem Experiment suchen oder selbst ein Experiment entwickeln. Wenn sie sich für ein Experiment entschieden haben, müssen sie überlegen, **welches Ergebnis sie von ihrem Experiment erwarten**.



Lisa und Peter betrachten die gefundenen Sachen genauer und haben schließlich eine Idee, die zur Lösung des Problems führen könnte.

Lisa: „Lass uns doch dafür sorgen, dass das Wasser verdampft, dann können wir gucken, ob was übrig bleibt.“

Peter: „Was heißt denn verdampfen?“

Lisa: „Soweit ich weiß, heißt das, dass das Wasser nicht mehr flüssig ist, sondern gasförmig wird und in die Luft aufsteigt.“

Die Mutter sagt: „Lisa hat vollkommen recht. Beim Nudelkochen zum Beispiel bildet sich gasförmiges Wasser, das könnt ihr an dem Wasserdampf erkennen. In der Luft kühlt sich das gasförmige Wasser ab und wird wieder flüssig. Die kleinen Wassertröpfchen sieht man dann als Wasserdampf in der Luft.“

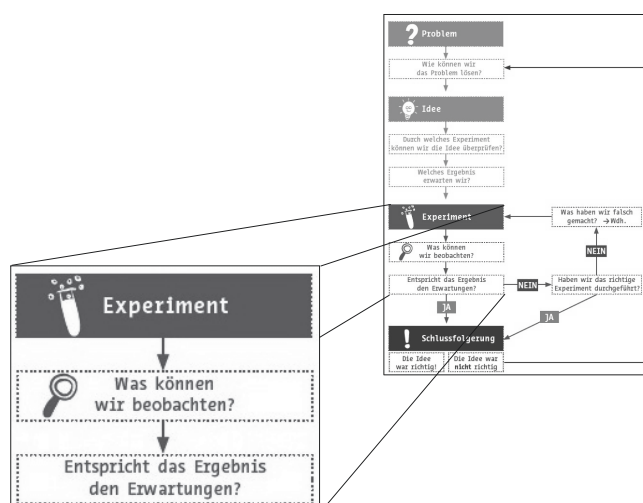
Peter: „Das heißt, wenn wir das Wasser erwärmen, dann sollte das Wasser gasförmig werden, also verdampfen. So würden wir das Wasser entfernen und wenn das Salzwasser ist, dann sollte das Salz im Glas zurück bleiben, weil Salz doch nicht gasförmig werden kann, oder Mama?“



Erkläre, was Lisa und Peter nach der Durchführung des Experiments miteinander vergleichen müssen, um weiterarbeiten zu können.

Das Experiment, das Lisa und Peter nun planen und durchführen müssen, dient der Überprüfung ihrer Idee.

Wenn sie das Experiment durchführen, müssen sie ganz sorgfältig beobachten, was passiert, und sie müssen die Beobachtungen außerdem genau notieren, damit sie nichts Wichtiges vergessen. Nachdem sie die Beobachtungen gemacht haben, müssen sie überlegen, ob das Ergebnis des Experiments den Erwartungen entspricht, die sie vorher hatten.



Lisa und Peter haben ein Experiment geplant, das der Überprüfung ihrer Idee dienen soll. Die beiden möchten mithilfe des Brenners herausfinden, ob Salz in dem Wasser ist. Sie erwarten, dass das Salz zurück bleiben sollte, wenn es sich um Salzwasser handelt, da Salz nicht verdampft.

Peter: „Lass uns nur einen Teil der Wassers nehmen, damit wir noch was übrig haben, falls das nicht funktioniert. Denn wenn unsere Idee falsch war, dann müssen wir nochmal von vorne beginnen. Das Salz sollte sowieso im Wasser gleichmäßig verteilt sein, denn Salzwasser schmeckt ja auch überall salzig und nicht nur an bestimmten Stellen, daher ist es kein Problem nur einen Teil zu nehmen.“

Sie wollen ihre Idee und ihre Erwartungen nun mithilfe eines Experiments bestätigen. Du kannst das Experiment gemeinsam mit Peter und Lisa durchführen. Tue einfach genau das, was Lisa und Peter auch tun. Die beiden legen sich zunächst alle benötigten Dinge zurecht.



Sie bauen zunächst den Brenner aus dem Uhrglas, dem Drahtkorbchen und dem Teelicht. Den Aufbau kannst du in der Abbildung rechts erkennen. Sie tropfen mit Hilfe der Pipette etwas Wasser auf das Uhrglas und entzünden dann den Brenner mithilfe der Streichhölzer. Nun müssen Lisa und Peter abwarten.

Was können sie beobachten, während sie warten?

Die beiden beobachten, dass durch das Erhitzen das Wasser weniger wird. Sie beobachten außerdem eine Blasenbildung und teilweise spritzen kleine weiße Körnchen vom Uhrglas herunter. Lisa und Peter warten, bis sich keine Flüssigkeit mehr auf dem Uhrglas befindet. Dann pusten sie das Teelicht aus. Sie fassen das Uhrglas jedoch nicht an, da es noch heiß ist! Sie müssen warten, bis es abgekühlt ist! Sie sehen aber, dass sich am Rand des Glases und auf dem Boden weiße Krusten befinden.

Lisa: „Guck mal, da ist noch was im Uhrglas.“

Peter: „Das ist bestimmt Salz. Salz ist ja ein weißer Feststoff, der in Wasser löslich ist.“

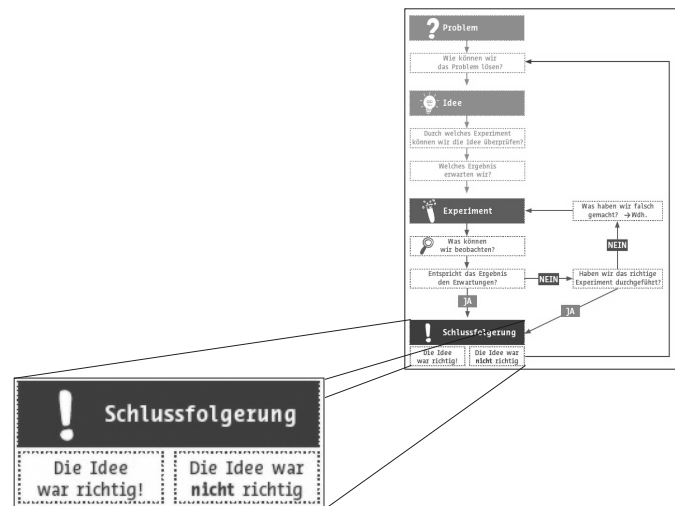


Begründe, wovon Lisas und Peters Entscheidung in Bezug auf das Problem abhängt.

Aus: Koenen, J. (2014). *Entwicklung und Evaluation von experimentunterstützten Lösungsbeispielen zur Förderung naturwissenschaftlich-experimenteller Arbeitsweisen*. Berlin: Logos. (Anhänge)

Lisa und Peter müssen nun eine Schlussfolgerung aus dem Ergebnis des Experiments ziehen. Sie müssen also schauen, ob ihre Beobachtung mit ihrer Erwartung übereinstimmt.

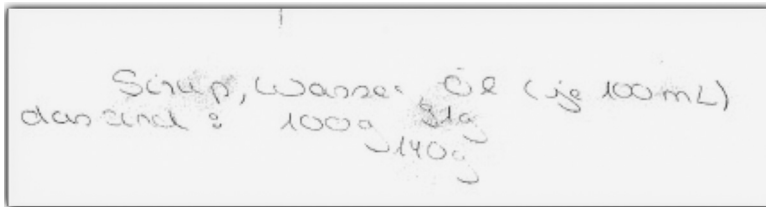
Lisa und Peter müssen entscheiden, ob die Beobachtung aus dem Experiment ihre Idee bestätigt oder nicht. Wenn die Beobachtung die Erwartung bestätigt, dann ist die Schlussfolgerung, dass die Idee richtig war. Damit hätten Lisa und Peter das Problem gelöst. Bestätigt die Beobachtung jedoch die Erwartung nicht, obwohl das Experiment richtig durchgeführt wurde, so lautet die Schlussfolgerung, dass die Idee falsch war. Damit wäre das Problem nicht gelöst und Lisa und Peter müssten noch einmal von vorne beginnen.



Lisa und Peter beobachteten, dass ein weißer Feststoff auf dem Uhrglas zurück blieb. Ihre Erwartung war, dass das Salz beim Verdampfen des Wassers zurück bleiben sollte, da es nicht verdampft, wenn es sich um Salzwasser handelt. Die Beobachtung stimmt also mit der Erwartung überein. Die Idee war also richtig. Das Gefäß mit dem **X** enthält also Salzwasser. Lisa und Peter haben das Problem gelöst.

Uromas altes Kuchenrezept

Lisa und Peter möchten gerne einen Kuchen backen. Daher suchen sie in dem alten Backbuch ihrer Uroma nach einem geeigneten Rezept. Sie entscheiden sich für einen Schokoladenkuchen. Zunächst müssen Wasser, Öl und Sirup zusammengegeben werden.



Lisa: „Papa, was ist eigentlich Sirup genau?“

Ihr Vater antwortet: „Sirup ist eine dickflüssige Lösung, die zum großen Teil aus Zucker besteht. Sirup wird vor allen Dingen bei der Zubereitung von Getränken und Süßspeisen verwendet.“

Lisa: „OK, also eine dickflüssige Flüssigkeit, die aus viel gelöstem Zucker und etwas Wasser besteht. Verschiedene Arten von Sirup, zum Beispiel Rübenkraut fürs Brot oder Ahornsirup, unterscheiden sich wahrscheinlich auch durch andere Bestandteile außer Zucker und Wasser.“

Vater: „Genau Lisa, da hast du recht.“

Das Rezeptbuch ist schon sehr alt. Die Seiten sind teilweise vergilbt und wurden noch per Hand beschrieben. Daher ist die Schrift schon an einigen Stellen verschmiert. So auch in diesem Rezept. Da ihre Mutter aber gerne Schokoladenkuchen mag, möchten sie kein anderes Rezept nehmen.

Bei den drei Hauptzutaten Sirup, Wasser und Öl ist jeweils angegeben, welches Volumen (mL) benötigt wird und welcher Masse dies entspricht.

Die beiden haben eine Waage zur Verfügung, um die Zutaten abzuwiegen. Die Volumenangaben helfen ihnen leider nicht weiter, weil ihr Messbecher kaputt ist. Daher können sie keine Milliliter abmessen.

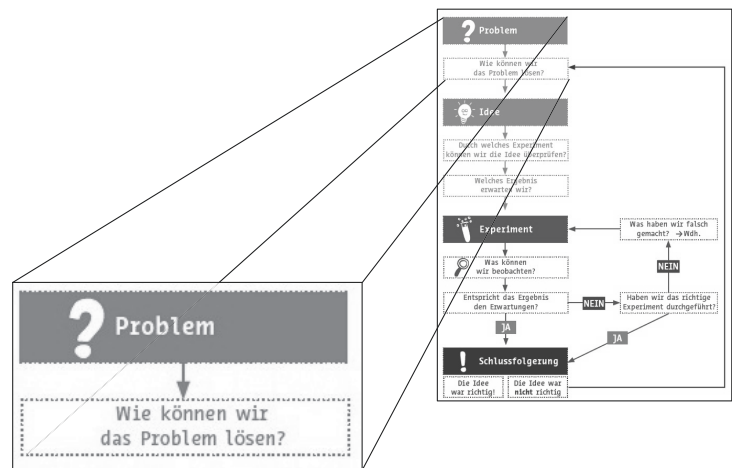
Da das Papier schon so alt und vergilbt ist, können Lisa und Peter nur noch erkennen, dass sie von jeder Zutat 100 mL benötigen. Welcher Masse dies entspricht, können sie allerdings nicht mehr erkennen. Sie erkennen zwar die Massen, wissen aber nicht zu welcher Zutat welche Masse gehört.



Erläutere, wieso es Lisa und Peter helfen kann die Situation zu beschreiben.

Peter und Lisa müssen sich, wenn sie ein Problem haben, zunächst überlegen, worin ihr Problem genau besteht.

Sie müssen sich des Problems bewusst sein und es klar, eindeutig und genau beschreiben. Erst wenn sie das gemacht haben, können sie sich Gedanken darüber machen, wie sie das Problem eigentlich lösen können.



Lisa und Peter setzen sich nochmal mit der Situation auseinander und versuchen ihr Problem klar zu beschreiben.

Sie beschreiben ihr Problem so: „In dem Kuchenrezept, das wir ausgesucht haben, kann man nicht mehr erkennen, welche Massenangabe zu welcher der drei Hauptzutaten gehört. Daher können wir die benötigte Menge nicht abwägen. Die Volumenangabe von 100 mL pro Zutat hilft uns aber auch nicht direkt weiter, weil der Messbecher kaputt ist, daher können wir sie nicht abmessen. Wir wissen nicht, welche Masse zu welcher Zutat gehört.“

Peter: „Also wir haben:“

Zutaten:	Massen:
Sirup	100 g
Öl	91 g
Wasser	140 g

Lisa: „Wissen wir denn, was wir verwenden können, um das herauszufinden?“

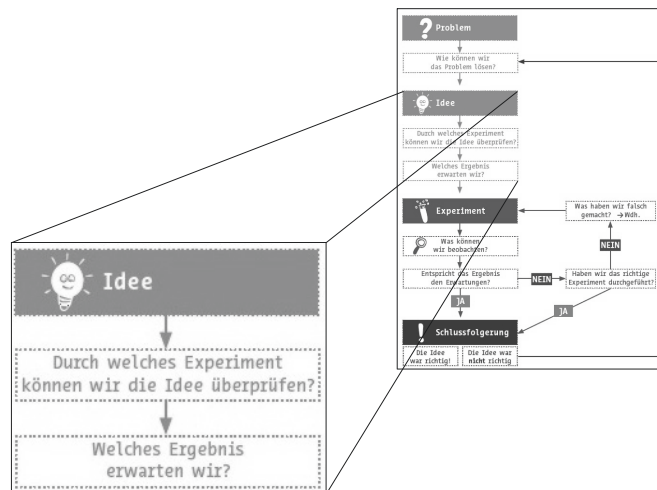
Peter: „Eigentlich können wir ja unser gesamtes Wissen nutzen.“



Entscheide, über welche Punkte (maximal 3) Lisa und Peter sich Gedanken machen müssen, wenn sie einen Vorschlag entwickeln.

Um das Problem lösen zu können, müssen Lisa und Peter sich zunächst Gedanken über eine Idee machen, die zur Lösung des Problems führen kann.

Wenn sie eine Idee gefunden haben, können sie sich Gedanken darüber machen, mit welchem Experiment sie ihre Idee überprüfen können. Sie müssen also nach einem Experiment suchen oder selbst ein Experiment entwickeln. Wenn sie sich für ein Experiment entschieden haben, müssen sie überlegen, **welches Ergebnis sie von ihrem Experiment erwarten.**



Lisa: „Ich glaube, ich habe eine Idee. Wir haben doch schon etwas über das Ei im Wasser bzw. Salzwasser herausgefunden. Das Schwimmen oder Sinken hatte ja was mit der Dichte zu tun. Wenn ich das noch richtig im Kopf habe, dann ist die Dichte doch eine Stoffeigenschaft, in der die Masse eines Stoffes auf sein Volumen bezogen wird.“

Peter: „Ja genau. Es ist abhängig von der Dichte, ob ein Stoff im Wasser untergeht oder oben schwimmt. Wenn ein Stoff eine größere Dichte als Wasser hat, dann geht er im Wasser unter. Wenn er eine geringere Dichte als Wasser hat, dann schwimmt er auf dem Wasser. Dann müssen wir jetzt einfach gucken, welcher der Stoffe in Wasser untergeht und welcher nicht.“

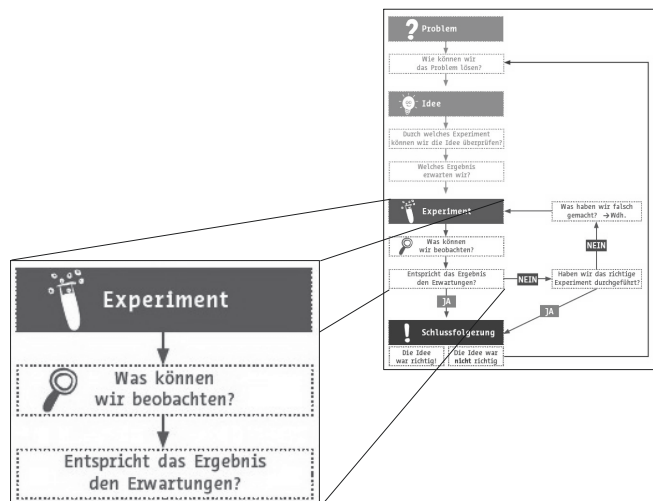
„Wir können die Dichte verwenden, weil wir ja von jeder Zutat, für die wir die Masse wissen, auch das gleiche Volumen gegeben haben – 100 mL. Das heißt, wir können das auch vergleichen“, sagt Lisa.



Erkläre, was Lisa und Peter nach der Durchführung des Experiments miteinander vergleichen müssen, um weiterarbeiten zu können.

Das Experiment, das Lisa und Peter nun planen und durchführen müssen, dient der Überprüfung ihrer Idee.

Wenn sie das Experiment durchführen, müssen sie ganz sorgfältig beobachten, was passiert, und sie müssen die Beobachtungen außerdem genau notieren, damit sie nichts Wichtiges vergessen. Nachdem sie die Beobachtungen gemacht haben, müssen sie überlegen, ob das Ergebnis des Experiments den Erwartungen entspricht, die sie vorher hatten.



Die beiden haben ein Experiment geplant, mit dem sie ihre Idee überprüfen möchten. Sie denken, dass sie anhand des Verhaltens der Stoffe, wenn sie sie ins Wasser geben, herausfinden können, welcher Stoff eine größere bzw. geringere Dichte als Wasser besitzt. Aus diesem Ergebnis wollen sie Rückschlüsse ziehen, welche Masse im Rezept zu welchem Stoff gehört. Dies können sie, weil sie von jeder der drei Zutaten das gleiche Volumen benötigen. Daher muss der Stoff, der die höchste Dichte besitzt, auch der Stoff mit der größten Masse sein. Lisa und Peter erwarten, dass sich die Stoffe nicht miteinander mischen, sondern sich entsprechend ihrer Dichte übereinander anordnen.

Die beiden möchten gern ihre Idee und die daraus resultierenden Erwartungen mithilfe eines Experiments überprüfen. Du kannst das Experiment gemeinsam mit Lisa und Peter durchführen. Tue einfach genau das, was Lisa und Peter auch tun. Lisa und Peter legen sich zunächst alle Dinge zurecht, die sie für ihr Experiment benötigen.



„Lass uns nicht das komplette Öl, Wasser und Sirup nehmen. Wir wollen ja nur gucken, ob die Stoffe im Wasser schwimmen oder untergehen. Da reicht es auch, wenn wir weniger nehmen, außerdem könnten wir dann, falls unsere Idee falsch war, nochmal von vorne beginnen.“, sagt Peter.

Die beiden geben etwas Wasser in den Becher. Sie füllen etwa einen Fingerbreit Wasser ein. Anschließend geben sie etwa die gleiche Menge Sirup hinzu und warten kurz. Danach kippen sie die gleiche Menge Öl hinzu. Dann beobachten sie das Gefäß. Was können Lisa und Peter beobachten, während sie den Versuch durchführen?

„Das sieht ja cool aus“, sagt Lisa. „Ja wirklich, man sieht, dass sich drei Schichten gebildet haben. Die drei Schichten durchmischen sich nicht, obwohl alle drei von Flüssigkeiten gebildet werden“, ergänzt Peter.

Betrachtet man die Farben der Schichten, so ist die untere Schicht leicht bräunlich, aber nicht trüb. Die mittlere Schicht ist klar. Die obere Schicht ist gelborange gefärbt.

gelborange

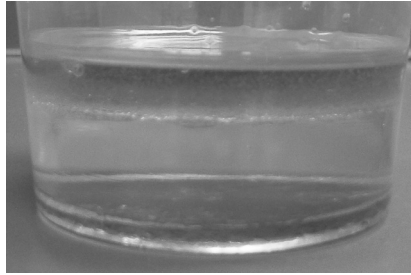
Öl

klar

Wasser

bräunlich

Sirup



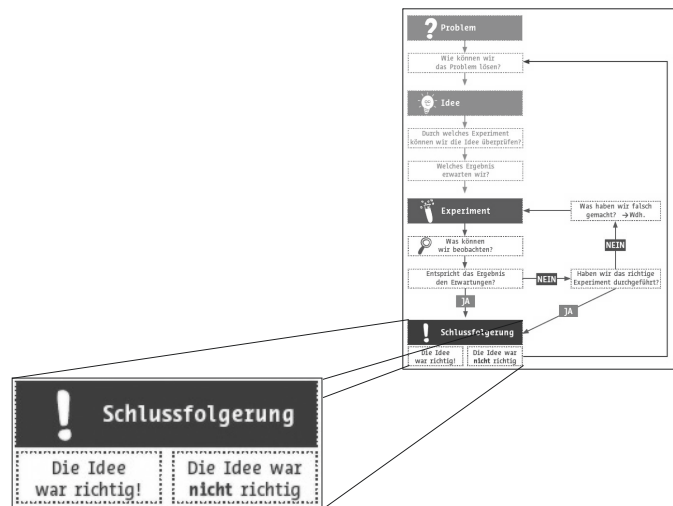
Die Beobachtungen, die Lisa und Peter gemacht haben, entsprechen ihren Erwartungen. Hat das Ergebnis auch deinen Erwartungen entsprochen?



Begründe, wovon Lisas und Peters Entscheidung in Bezug auf das Problem abhängt.

Lisa und Peter müssen nun eine Schlussfolgerung aus dem Ergebnis des Experiments ziehen. Sie müssen also schauen, ob ihre Beobachtung mit ihrer Erwartung übereinstimmt.

Lisa und Peter müssen entscheiden, ob die Beobachtung aus dem Experiment ihre Idee bestätigt oder nicht. Wenn die Beobachtung die Erwartung bestätigt, dann ist die Schlussfolgerung, dass die Idee richtig war. Damit hätten Lisa und Peter das Problem gelöst. Bestätigt die Beobachtung jedoch die Erwartung nicht und das Experiment wurde aber richtig durchgeführt, so lautet die Schlussfolgerung, dass die Idee falsch war. Damit wäre das Problem nicht gelöst und Lisa und Peter müssten noch einmal von vorne beginnen.



Die Beobachtungen, die Lisa und Peter während des Experiments gemacht haben, bestätigen ihre Erwartungen. Die beiden hatten erwartet, dass die Stoffe sich nicht vermischen, sondern entsprechend ihrer Dichte in Wasser sinken oder darauf schwimmen. Wenn man die Farben der drei Schichten betrachtet, stellt man fest, dass der Sirup die untere Schicht bildet. In der Mitte befindet sich das Wasser und oberhalb des Wassers wird die dritte Schicht vom Öl gebildet.

„Das bedeutet dann, dass der Sirup eine größere Dichte als Wasser hat und das Öl eine geringere Dichte“, schlussfolgert Peter.

Lisa reagiert: „Dann haben wir also:“

Lisas und Peters Beobachtung stimmt mit ihrer Erwartung überein. Ihre Idee war also richtig. Die beiden haben das Problem gelöst. Sie müssen aus den Dichten jetzt nur noch auf die Massen der Stoffe schließen.

Zutaten:	Dichte:
Öl	am Kleinsten
Wasser	liegt in der Mitte
Sirup	am Größten

Wasserverschmutzung und ihre Folgen



(Katja Schulz, CC BY 2.0)

Lisa und Peter sind mit ihren Eltern wieder am See.

Lisa und Peter beobachten die Wasserläufer, die sie bei ihrem letzten Besuch entdeckt haben. Die Wasserläufer laufen kreuz und quer über das Wasser und fangen ihre Nahrung. Wasserläufer ernähren sich von Insekten. Sie können 30 bis 40 cm weit und hoch springen. Auf diese Art und Weise fangen sie ihre Nahrung und bewegen sich fort.

„Peter, guck mal“, ruft Lisa. Peter schaut konzentriert aufs Wasser und sieht, was Lisa auch sieht. „Die Wasserläufer gehen alle unter“, sagt Peter.

Innerhalb kürzester Zeit ist die Mehrheit der Wasserläufer untergegangen. Der Rest konnte sich noch rechtzeitig durch einen weiten Sprung ans Ufer retten.

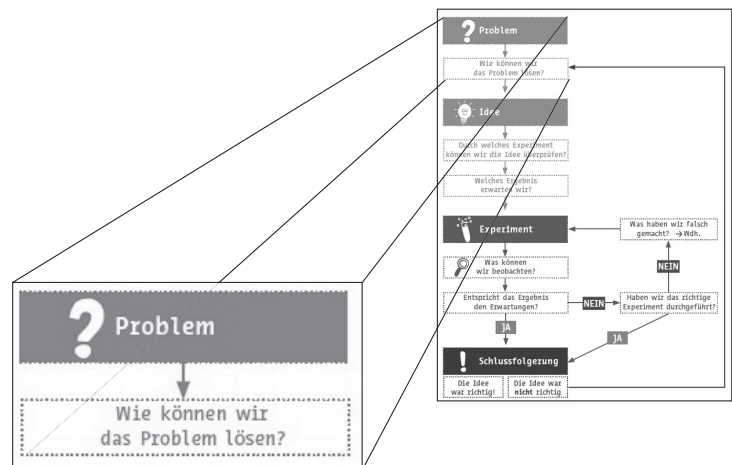
„Wie kann das denn passieren? Ich dachte, Wasserläufer können wegen der Oberflächenspannung auf dem Wasser laufen“, sagt Lisa. „Genau! Die kann doch nicht einfach so weg sein“, ergänzt Peter.



Erläutere, wieso es Lisa und Peter helfen kann die Situation zu beschreiben.

Peter und Lisa müssen sich, wenn sie ein Problem haben, zunächst überlegen, worin ihr Problem genau besteht.

Sie müssen sich des Problems bewusst sein und es klar, eindeutig und genau beschreiben. Erst wenn sie das gemacht haben, können sie sich Gedanken darüber machen, wie sie das Problem eigentlich lösen können.



Lisa und Peter setzen sich nochmal mit der Situation auseinander und versuchen ihr Problem klar zu beschreiben.

Lisa und Peter beschreiben ihr Problem so: „Die Mehrheit der Wasserläufer geht auf einmal ohne jeden ersichtlichen Grund unter. Wir können uns das nicht erklären. Es lässt sich keine Veränderung des Teichs erkennen. Außerdem wissen wir, dass die Wasserläufer aufgrund der Oberflächenspannung des Wassers auf dem Wasser laufen können. Also warum gehen sie unter?“

Peter: „Mhh, vielleicht ist ja was passiert, was wir nicht sehen konnten. Vielleicht hat es was mit der Fabrik da drüben zu tun.“



Lisa: „Was ist das denn für eine Fabrik?“

Mutter: „Die Fabrik gegenüber produziert Seife und Spülmittel.“

Peter: „Vielleicht hat das was damit zu tun.“

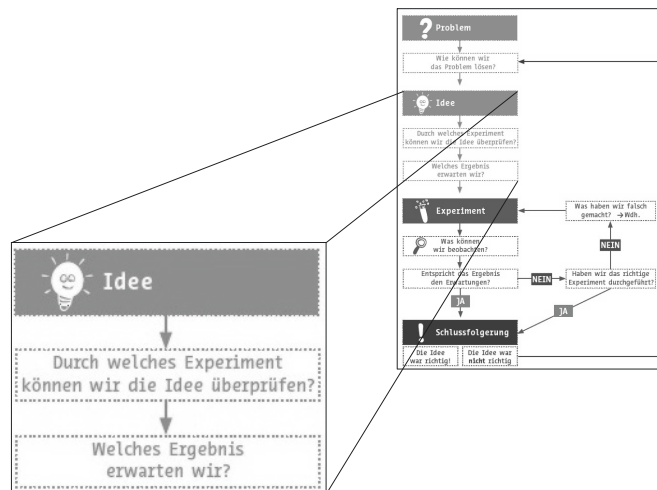
Ihre Mutter gibt den beiden noch einen Hinweis: „Wir haben doch viel für heute Abend zum Grillen mit. Nehmt euch doch einfach 2 Becher, Pfeffer und Spülmittel. Damit könnt ihr herausfinden, wieso die Wasserläufer untergehen.“



Entscheide, über welche Punkte (maximal 3) Lisa und Peter sich Gedanken machen müssen, wenn sie einen Vorschlag entwickeln.

Um das Problem lösen zu können, müssen Lisa und Peter sich zunächst Gedanken über eine Idee machen, die zur Lösung des Problems führen kann.

Wenn sie eine Idee gefunden haben, können sie sich Gedanken darüber machen, mit **welchem Experiment sie ihre Idee überprüfen** können. Sie müssen also nach einem Experiment suchen oder selbst ein Experiment entwickeln. Wenn sie sich für ein Experiment entschieden haben, müssen sie überlegen, **welches Ergebnis sie von ihrem Experiment erwarten**.



Lisa und Peter denken, dass sie eine Idee haben.

Lisa: „Das hat bestimmt was mit der Seifen- und Spülmittelfabrik zu tun.“

Peter: „Wir können doch wieder einen Modellversuch machen und den See mithilfe des Wassers und des Bechers darstellen. Der Pfeffer könnte die Wasserläufer symbolisieren. Bei einem Modellversuch ist es ja ganz wichtig, dass man alle Dinge mit Sachen in Verbindung bringt, die sich so ähnlich wie möglich sind. Der Wasserläufer zum Beispiel ist ganz leicht, genauso ist der Pfeffer ganz leicht. Aber wir wissen noch nicht, ob der Pfeffer auch auf der Wasseroberfläche schwimmen kann.“

Lisa: „Wir müssen nur ausprobieren, ob auch Pfeffer auf dem Wasser schwimmt. Wenn ja, dann können wir ihn als Modell für die Wasserläufer verwenden.“

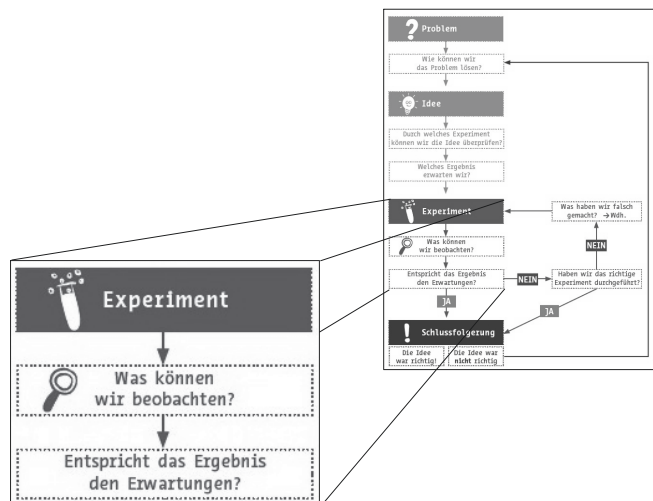
Peter: „OK, und dann geben wir Spülmittel dazu und gucken, was passiert.“



Erkläre, was Lisa und Peter nach der Durchführung des Experiments miteinander vergleichen müssen, um weiterarbeiten zu können.

Das Experiment, das Lisa und Peter nun planen und durchführen müssen, dient der Überprüfung ihrer Idee.

Wenn sie das Experiment durchführen, müssen sie ganz sorgfältig beobachten, was passiert, und sie müssen die Beobachtungen außerdem genau notieren, damit sie nichts Wichtiges vergessen. Nachdem sie die Beobachtungen gemacht haben, müssen sie überlegen, ob das Ergebnis des Experiments den Erwartungen entspricht, die sie vorher hatten.



Lisa und Peter haben ein Experiment geplant, dass der Überprüfung ihrer Idee dienen soll. Die beiden möchten mithilfe von Pfeffer und Spülmittel herausfinden, ob die Fabrik auf der anderen Seite des Sees etwas mit dem Untergehen der Wasserläufer zu tun hat. Die beiden erwarten, dass der Pfeffer, wenn er auf dem Wasser schwimmt, untergeht, wenn sie Spülmittel dazu geben.

Lisa und Peter möchten nun gerne ihre Idee und ihre Erwartungen mithilfe eines Experiments überprüfen. Du kannst das Experiment gemeinsam mit Lisa und Peter durchführen. Tue einfach genau das, was Lisa und Peter auch tun. Lisa und Peter legen sich zunächst alle Dinge zurecht, die sie benötigen.

Lisa und Peter möchten herausfinden, ob das Spülmittel einen Einfluss auf das Untergehen hat oder nicht. Daher müssen die beiden ein kontrolliertes Experiment machen. Sie müssen also einen Versuch mit und einen Versuch ohne Spülmittel durchführen und ansonsten alles immer gleich machen. Also gleich viel Wasser nehmen und gleich viel Pfeffer. Dieses Vorgehen bezeichnet man als Variablenkontrolle.



Peter füllt zunächst beide Becher mit gleich viel Wasser. Dazu nimmt er allerdings nicht das Seewasser, sondern Wasser aus der Flasche. Du kannst Wasser aus dem Wasserhahn benutzen. Lisa gibt nun ganz langsam etwas von dem Pfeffer auf die Wasseroberfläche des ersten Bechers und auch auf die Wasseroberfläche des zweiten Bechers. Sie gibt auf jeden Becher etwa gleich viel Pfeffer. Sie muss darauf achten, dass sie nicht zu viel Pfeffer nimmt, weil dieser sonst sinkt. Dann gibt Peter in die Mitte des einen Bechers etwas Spülmittel, zwei bis drei Tropfen genügen. Was können Lisa und Peter beobachten, während sie den Versuch durchführen?

Lisa und Peter machen folgende Beobachtungen:

Lisa und Peter erkennen zunächst, dass der Pfeffer in beiden Bechern auf der Wasseroberfläche schwimmt. An den Stellen, an denen der Pfeffer in zu großen Mengen auf die Wasseroberfläche gelangt ist, sinkt er allerdings langsam. Es schwimmt also wegen der Masse nur eine bestimmte Menge an Pfeffer wegen der Oberflächenspannung auf dem Wasser.



Wasser mit Pfeffer
ohne Spülmittel



Wasser mit Pfeffer
und Spülmittel

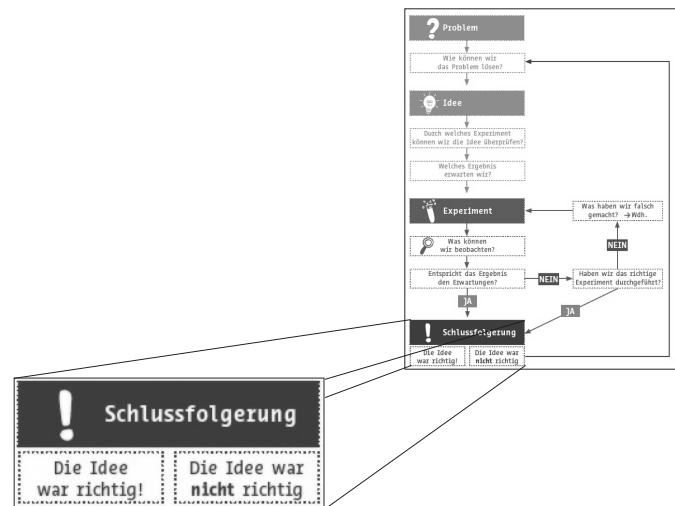
Als Lisa und Peter das Spülmittel hinzu geben, bleibt der Pfeffer nicht mehr auf der Wasseroberfläche. Er treibt zunächst zur Seite und geht dann schnell unter. Die Menge des absinkenden Pfeffers ist in dem Becher mit dem Spülmittel viel größer als die Menge des absinkenden Pfeffers in dem Becher ohne Spülmittel.



Begründe, wovon Lisas und Peters Entscheidung in Bezug auf das Problem abhängt.

Lisa und Peter müssen nun eine Schlussfolgerung aus dem Ergebnis des Experiments ziehen. Sie müssen also schauen, ob ihre Beobachtung mit ihrer Erwartung übereinstimmt.

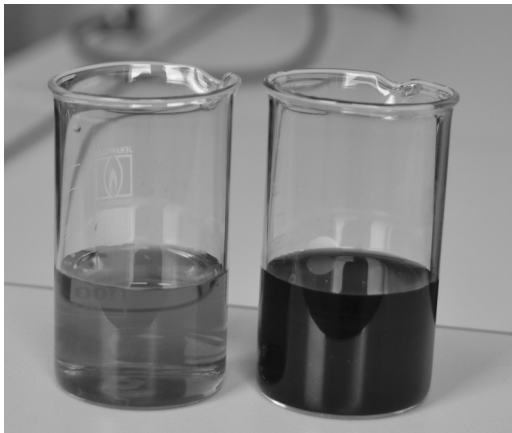
Lisa und Peter müssen entscheiden, ob die Beobachtung aus dem Experiment ihre Idee bestätigt oder nicht. Wenn die Beobachtung die Erwartung bestätigt, dann ist die Schlussfolgerung, dass die Idee richtig war. Damit hätten Lisa und Peter das Problem gelöst. Bestätigt die Beobachtung jedoch die Erwartung nicht und das Experiment wurde aber richtig durchgeführt, so lautet die Schlussfolgerung, dass die Idee falsch war. Damit wäre das Problem nicht gelöst und Lisa und Peter müssten noch einmal von vorne beginnen.



Die gemachten Beobachtungen stimmen mit Lisas und Peters Erwartungen überein. Die beiden hatten erwartet, dass der Pfeffer, der in ihrem Modellversuch die Wasserläufer darstellt, untergeht, wenn sie Spülmittel dazugeben. Dies zeigt, dass es einen Zusammenhang zwischen der Seifen- und Spülmittelfabrik und dem Untergehen der Wasserläufer gibt. Lisa und Peter haben das Problem gelöst, denn sie haben herausgefunden, dass die Oberflächenspannung des Wassers nach der Zugabe des Spülmittels nicht mehr hoch genug ist, daher geht der Pfeffer bzw. gehen die Wasserläufer unter. Die Fabrik scheint also etwas mit dem Untergehen zu tun zu haben.

Kaliumpermanganat-Versuch

Es gibt eine große Vielfalt an Salzen. Die meisten Salze sind bei Raumtemperatur Feststoffe mit hohen Schmelzpunkten. Zahlreiche Salze sind in Wasser gut löslich, andere wiederum lösen sich eher schlecht in Wasser. Die Löslichkeit eines Salzes ist damit ein Parameter zur Charakterisierung von Salzen. Daher sollen heute im Schülerlabor Versuche zu den Lösungseigenschaften von Salzen durchgeführt werden. Bei dem heutigen Versuch handelt es sich um einen Versuch zur Lösungseigenschaft von Kaliumpermanganat in Wasser mit verschiedenen Temperaturen. Für diesen Versuch löst Sarah Kaliumpermanganat, ein violetteres Salz, in Wasser. Dazu werden je 50 mL Wasser in zwei Bechergläser gefüllt. Ein Becherglas wird danach mit einem Siedestab versehen und auf einer Heizplatte über dem Bunsenbrenner bis zum Siedepunkt erhitzt. Anschließend wird in jedes Becherglas eine Spatelspitze des Kaliumpermanganatsalzes (KMnO_4) gegeben. Sarah kann beobachten, dass sich das kalte Wasser rosa bis violett verfärbt, während das heiße Wasser eine intensive lila Färbung annimmt. Sarah hat sehr gewissenhaft gearbeitet und in jedes Becherglas die gleiche Menge an Wasser und Salz hinzugefügt. Wodurch also kommt die unterschiedliche Farbe zustande? Sarah weiß keine Erklärung für ihre Beobachtung und beschließt den Laborassistenten Gustav um Hilfe zu bitten.

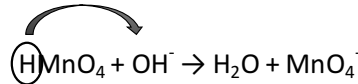


Die Löslichkeit eines Salzes ist damit ein Parameter zur Charakterisierung von Salzen. Daher sollen heute im Schülerlabor Versuche zu den Lösungseigenschaften von Salzen durchgeführt werden. Bei dem heutigen Versuch handelt es sich um einen Versuch zur Lösungseigenschaft von Kaliumpermanganat in Wasser mit verschiedenen Temperaturen. Für diesen Versuch löst Sarah Kaliumpermanganat, ein violetteres Salz, in Wasser. Dazu werden je 50 mL Wasser in zwei Bechergläser gefüllt. Ein Becherglas wird danach mit einem Siedestab versehen und auf einer Heizplatte über dem Bunsenbrenner bis zum Siedepunkt erhitzt. Anschließend wird in jedes Becherglas eine Spatelspitze des Kaliumpermanganatsalzes (KMnO_4) gegeben. Sarah kann beobachten, dass sich das kalte Wasser rosa bis violett verfärbt, während das heiße Wasser eine intensive lila Färbung annimmt. Sarah hat sehr gewissenhaft gearbeitet und in jedes Becherglas die gleiche Menge an Wasser und Salz hinzugefügt. Wodurch also kommt die unterschiedliche Farbe zustande? Sarah weiß keine Erklärung für ihre Beobachtung und beschließt den Laborassistenten Gustav um Hilfe zu bitten.

Wieso nehmen die beiden Lösungen unterschiedliche Farben an, obwohl gleiche Mengen des Salzes gelöst wurden?

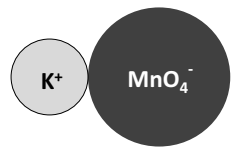
Um deine Beobachtungen besser verstehen zu können, beginnt Gustav, wäre es sehr sinnvoll sich erst einmal zu verdeutlichen, was ein Salz chemisch gesehen eigentlich ist. Daher sollten wir zunächst klären, wie das Kaliumpermanganatsalz entsteht und wie es sich zusammensetzt. Dann fällt es dir später leichter nachzuvollziehen, wie es zu deinen unterschiedlichen Beobachtungen gekommen ist. Eventuell kennst du die Formel von Kaliumpermanganat ja schon aus deinem Schulunterricht.

Nun, die chemische Formel von Kaliumpermanganat lautet: KMnO_4 . Anhand der Formel kann man erkennen, dass es aus einem Kalium-Ion und einem Permanganat-Ion besteht. Permanganat-Ionen sind chemisch gesehen die Anionen der Permangansäure (HMnO_4). Permanganat-Ionen entstehen, wenn Permangansäure das Proton (H^+) auf ein anderes Teilchen – meist eine Base – überträgt. Ich habe dir diese Reaktion hier einmal aufgeschrieben:



Hier reagiert ein Permangansäuremolekül mit einer Base (OH^- -Ion). Dabei wird das H^+ -Ion der Säure auf die Base übertragen und es entstehen ein Wassermolekül und das Permanganat-Anion. Dieses ist einfach negativ geladen. Es hat schließlich ein Proton (eine positive Ladung) abgegeben.

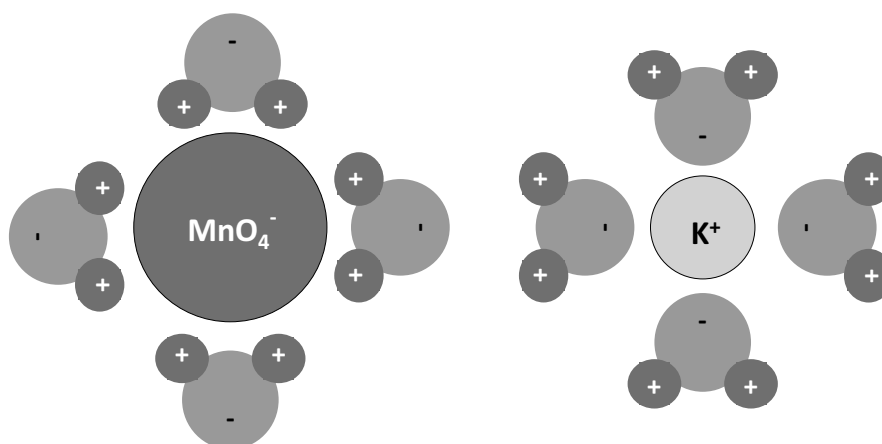
Soviel also zu unserem Permanganat-Ion. Wie sieht es nun mit dem Kalium-Ion aus. Nun, das Element Kalium gehört zu der Gruppe der Metalle. Kalium-Atome sind sehr reaktiv und können leicht jeweils ein Elektron abgeben. Nach Abgabe eines Elektrons liegt ein Kalium-Atom als einfach positiv geladenes Kalium-Kation vor. Sowohl das Permanganat-Anion als auch das Kalium-Kation liegen somit als Ionen vor. Dabei ist ein Kalium-Kation einfach positiv geladen, ein Permanganat-Anion hingegen einfach negativ. Positiv und negativ geladene Ionen ziehen sich gegenseitig an. Das Salz Kaliumpermanganat entsteht, wenn sich ein Permanganat-Anion mit einem Kalium-Kation zusammenlagert, wie du hier auf der schematischen Abbildung sehen kannst. Kaliumpermanganat ist – wie alle Salze – eine ionische (aus Ionen aufgebaute) Verbindung. Das Kalium-Kation stellt hierbei den metallischen Ionenpartner, das Permanganatanion stellt den nichtmetallischen Ionenpartner dar. Vielleicht fragst du dich, warum es so wichtig ist die chemische Struktur von Kaliumpermanganat zu kennen. Nun, wenn man die Zusammensetzung von Kaliumpermanganat kennt, ist es einfacher deine Beobachtungen zu verstehen.



Halten wir fest: Kaliumpermanganat besteht aus Kalium-Kationen und Permanganat-Anionen. Ein Kaliumpermanganatsalz besteht somit aus winzigen Salzkristallen, die aus der Zusammenlagerung von Kalium-Kationen und Permanganat-Anionen zu einem Ionengitter entstehen. Innerhalb des Ionengitters wird jedes Kalium-Kation von Permanganat-Anionen umgeben (und umgekehrt). Zwischen den Ionen herrschen Kräfte – sogenannte elektrostatische Wechselwirkungen – die den Salzkristall zusammenhalten. Wenn dieses Salz nun in dem Becherglas mit Wasser in Berührung kommt, beginnt der Löseprozess.

Aus: Kölbach, E. (2011). *Kontexteinflüsse beim Lernen mit Lösungsbeispielen*. Berlin: Logos. (Anhänge)
Anmerkung: Die gepunkteten Linien stellen Seitenumbrüche dar.

Auf der schematischen Abbildung kannst du sehen, was passiert, wenn ein Kaliumpermanganat-Salzkristall mit Wasser in Kontakt kommt:



Sobald ein Salzkristall mit dem Wasser im Becherglas in Berührung kommt, findet eine Wechselwirkung zwischen den Wassermolekülen und dem Salzkristall statt. Dabei werden die positiv geladenen Kalium-Kationen von den negativ polarisierten Sauerstoffatomen angezogen, während die negativ geladenen Permanganat-Anionen von den positiv polarisierten Wasserstoffatomen der Wassermoleküle angezogen werden. Schließlich werden die Ionen komplett von Wassermolekülen umgeben (hydratisiert) und dadurch im Wasser gelöst. Der Lösungsvorgang beginnt an den Kanten eines Salzkristalls und schreitet solange voran, bis sich kein weiteres Salz mehr im Wasser lösen kann. Ein entscheidender Faktor für die Löslichkeit eines Salzes ist die Temperatur des Wassers, was dir auch der Versuch gezeigt hat.

Du hast beobachtet, dass sich das kalte Wasser rosa bis violett und das warme Wasser intensiv dunkellila gefärbt hat. Um das zu verstehen, müssen wir uns den Lösevorgang von Kaliumpermanganat genauer vor Augen führen.

Das Wasser in dem ersten Becherglas hatte Raumtemperatur ($\sim 25^\circ\text{C}$), das Wasser in dem zweiten Becherglas hatte Siedetemperatur (100°C). Durch die hohe Temperatur konnte sich mehr Salz lösen. Das hängt mit den Eigenschaften von Salzen zusammen.

Wenn du ein Salz in Wasser löst, passieren während des Löseprozesses genau zwei Dinge. Zum einen werden die Anionen und Kationen aus dem Salzgitter gelöst und zum anderen werden sie von Wassermolekülen umschlossen (hydratisiert). Der erste Schritt, das Lösen der Ionen aus dem Ionengitter, benötigt im Falle des Kaliumpermanganats viel mehr Energie als später bei der Hydratation frei gesetzt wird. Damit überwiegt insgesamt die Energieaufnahme. Das Lösen von Kaliumpermanganat ist insgesamt ein endothermer Prozess. Das heißt, dass er unter Energieaufnahme stattfindet. Die Energie, die für das Lösen benötigt wird, wird dem Wasser in Form von Wärme entzogen. Damit gilt: Je wärmer das Wasser, desto mehr Kaliumpermanganatsalz kann sich lösen. Je mehr Kaliumpermanganat sich löst, desto mehr verändert sich die Farbe des Wassers. Was nun also passiert ist Folgendes:

Aus: Kölbach, E. (2011). *Kontexteinflüsse beim Lernen mit Lösungsbeispielen*. Berlin: Logos. (Anhänge)
Anmerkung: Die gepunkteten Linien stellen Seitenumbrüche dar.

Permanganat ist, wie du aus deinem Versuch weißt, ein lilafarbenes Salz. Wenn es sich löst, verleiht es dem Wasser eine lila Färbung. Eben wurde festgestellt, dass sich Kaliumpermanganat endotherm, sprich unter Wärmeaufnahme löst. Damit ist klar, dass sich in deinem Versuch mehr Kaliumpermanganat in dem kochenden Wasser (~100 °C) gelöst haben muss als in dem Wasser, das nur Zimmertemperatur besaß. Weiterhin ist klar, dass Kaliumpermanganat das Wasser verfärbt, wenn es sich löst. Je mehr Kaliumpermanganat sich also im Wasser löst, desto dunkler muss auch die Farbe sein, die das Wasser annimmt. Dementsprechend ist das warme Wasser intensiver (dunkler) lila gefärbt als das kalte Wasser. Im kalten Wasser lösen sich weniger Salzteilchen, wodurch die Lösung nur eine hell rosa bzw. violette Färbung annimmt. Deine Beobachtung beruht allein auf der unterschiedlichen Löslichkeit eines Salzes in Abhängigkeit von der Temperatur. Jetzt solltest du in der Lage sein, deine Versuchsbeobachtungen zu deuten.